



Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE FINAL DE CARRERA *ENGINYERIA INDUSTRIAL*

GENER 2015

DISSENY D'UN XASSÍS MONOCASC PER A UN VEHICLE TIPUS FORMULA STUDENT

Autor

Xavier Aymerich Sucarrats

Director

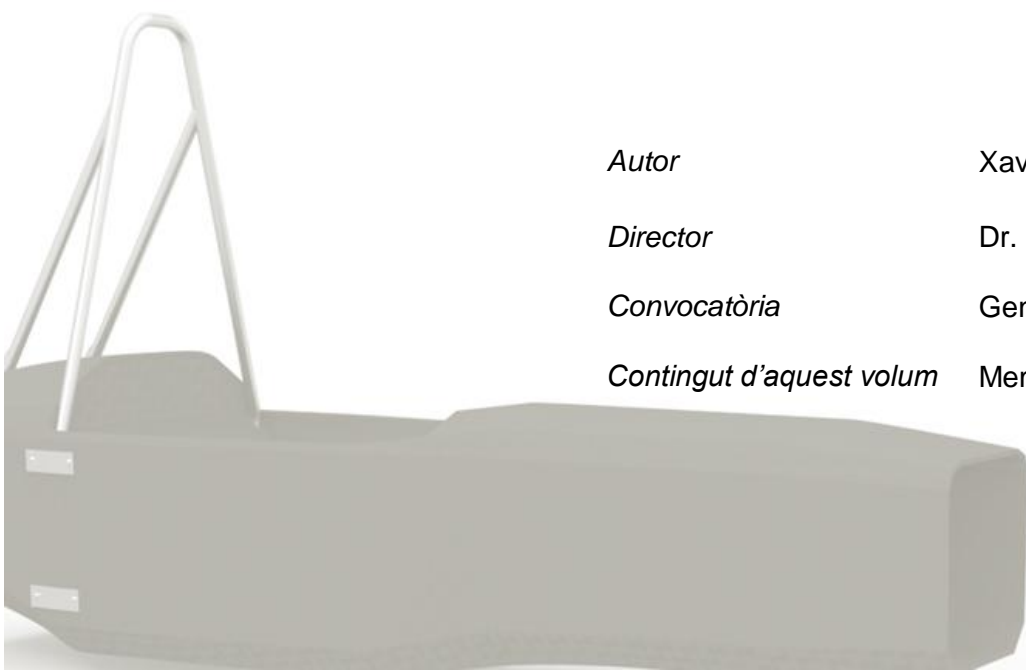
Dr. Miguel Ángel Saiz Segarra

Convocatòria

Gener 2015

Contingut d'aquest volum

Memòria



<i>TÍTOL</i>	Disseny d'un xassís monocasc per a un vehicle tipus Formula Student
<i>AUTOR</i>	Xavier Aymerich Sucarrats
<i>DIRECTOR</i>	Dr. Miguel Ángel Saiz Segarra
<i>CONVOCATÒRIA</i>	Gener 2015
<i>CONTINGUT</i>	Memòria

RESUM

El present Projecte Final de Carrera elabora el disseny d'un xassís monocasc tipus Formula Student. Es mostra un procés transversal on es pensa en el concepte, s'assagen materials compostos, es té en compte la normativa per aquests vehicles i es proposa una volumetria la qual s'analitza mitjançant elements finits. I, es realitza la documentació necessària per mostrar aquest procés juntament amb uns plànols del monocasc.

Agraïments

El desenvolupament del projecte ha estat possible gràcies al suport de Miguel Ángel Saiz per la llibertat que ha ofert i els consells donats; Lluís Gil per fer arribar la necessitat de realitzar assajos mecànics a Marco Antonio Pérez i a Roger Serra que a la vegada ha possibilitat la realització d'assajos mecànics a l'ETSEIAT; Hofmann Innovation Group Ibérica, SA, per l'oferiment de material i suport a la fabricació d'unes provetes per ser assajades mecànicament; família, amics i companys per la confiança i els consells donats.

Índex

1. OBJECTE	2
2. JUSTIFICACIÓ	4
3. ESPECIFICACIONS BÀSIQUES	6
4. ABAST	8
5. OBJECTIUS	10
6. ANTECEDENTS	12
7. SELECTIVA DE MATERIALS	21
7.1 PROCÉS DE SELECCIÓ	23
7.1.1 SITUACIÓ DELS COMPOSTOS RESPECTE ALTRES MATERIALS	33
7.2 PROPIETATS DELS MATERIALS ESCOLLIT. POSSIBLES PROVEÏDORS.	36
8. DISSENY DEL XASSÍS	38
8.1 LAY-OUT	40
8.2 DISSENY VOLUMÈTRIC	45
8.3 DISSENY PER A LA FABRICACIÓ	53
9. CÀLCULS I VALIDACIÓ	57
9.1 FABRICACIÓ DE PROVETES	57
9.2 ASSAIG DE PROVETES	61
9.3 SIMULACIONS DELS ASSAJOS	72
9.4 SIMULACIÓ DEL XASSÍS	76
9.5 UNIONS DELS COMPONENTS	85
9.5.1 UNIÓ TIPUS 1	85
9.5.2 UNIÓ TIPUS 2	89
9.6 PROPOSTES DE MILLORA	91
10. AVALUACIÓ D'IMPACTE MEDI AMBIENTAL	94

<u>11. ESTUDI ECONÒMIC</u>	<u>97</u>
<u>12. CONCLUSIONS</u>	<u>100</u>
<u>13. BIBLIOGRAFIA</u>	<u>103</u>
<u>14. WEBGRAFIA</u>	<u>106</u>

Índex d'il·lustracions

<i>Il·lustració 1: Factory Five GTM [EE.UU.]</i>	14
<i>Il·lustració 2: Ariel Atom 500 '08 [Anglaterra]</i>	14
<i>Il·lustració 3: Bugato aSac400 []</i>	14
<i>Il·lustració 4: ecoRZ frame design'14 [Espanya]</i>	14
<i>Il·lustració 5: Volvo V40 '96 [Suècia]</i>	15
<i>Il·lustració 6: Chevrolet Corvette Stingray '14 [EE.UU.]</i>	15
<i>Il·lustració 7: Chevrolet Classic Frame '55-'57 [EE.UU.]</i>	15
<i>Il·lustració 8: Audi R8 Spyder '09 [Alemanya]</i>	15
<i>Il·lustració 9: Mazda MX-5 '96 [Japó]</i>	16
<i>Il·lustració 10: Porsche 918 Spyder '14 [Alemanya]</i>	16
<i>Il·lustració 11: McLaren MP4-12C '11 vs McLaren MP4/1-F1 '81 [Anglaterra]</i>	16
<i>Il·lustració 12: Formula Student Xassís Híbrid</i>	17
<i>Il·lustració 13: Formula Student Xassís Monocasc</i>	17
<i>Il·lustració 14: densitat Materials</i>	18
<i>Il·lustració 15: fibra de carboni</i>	19
<i>Il·lustració 16: fibra d'aramida</i>	19
<i>Il·lustració 17: fibra de vidre</i>	19
<i>Il·lustració 18: resina d'epòxid i catalitzador</i>	19
<i>Il·lustració 19: resina de vinilèster</i>	19
<i>Il·lustració 20: resina de polièster</i>	19
<i>Il·lustració 21: honeycomb d'alumini</i>	19
<i>Il·lustració 22: espuma de PET</i>	19
<i>Il·lustració 23: espuma SAN</i>	19
<i>Il·lustració 24: formigó</i>	22
<i>Il·lustració 25: estructura òssia</i>	22
<i>Il·lustració 26: fusta</i>	22
<i>Il·lustració 27: fibra carboni+epòxid</i>	22
<i>Il·lustració 28: acer – material isòtrop</i>	22
<i>Il·lustració 29: fusta - material anisòtrop</i>	22
<i>Il·lustració 30: esquema tipologies de materials compostos</i>	25
<i>Il·lustració 31: elements constituents d'un panell sandvitx</i>	25
<i>Il·lustració 32: espessor i rigidesa de panells sandvitx</i>	26
<i>Il·lustració 33: nuclis d'un xassís tipus Formula Student</i>	30
<i>Il·lustració 34: nuclis d'un Fórmula 1</i>	30
<i>Il·lustració 35: xassís monocasc del Koenigsegg Agera</i>	30
<i>Il·lustració 36: monocasc Alfa Romeo 4C</i>	31
<i>Il·lustració 37: fibra escollida – carboni</i>	32
<i>Il·lustració 38: resina escollida – epòxid</i>	32
<i>Il·lustració 39: nuclis escollit - honeycomb d'alumini</i>	32
<i>Il·lustració 40: limitacions a la cerca de materials a CES</i>	33
<i>Il·lustració 41: densitat vs. mòdul de Young. CES</i>	34
<i>Il·lustració 42: límit elàstic vs. mòdul de Young. CES</i>	34
<i>Il·lustració 43: elongació vs. mòdul de Young. CES</i>	35
<i>Il·lustració 44: preu vs. mòdul de Young. CES</i>	36
<i>Il·lustració 45: primera distribució; cascada</i>	41
<i>Il·lustració 46: distribució 1 en un formula student (1)</i>	42

Il·lustració 47: distribució 1 en un formula student (2)	42
Il·lustració 48: segona distribució; bateries laterals	43
Il·lustració 49: distribució 2 en un formula student	44
Il·lustració 50: tercera distribució; bateries en "U"	44
Il·lustració 51: lay-out + pilot	46
Il·lustració 52: volumetria exterior del xassís	46
Il·lustració 53: lay-out del xassís	47
Il·lustració 54: lay-out (xassís seccionat) 1	47
Il·lustració 55: lay-out (xassís seccionat) 2	48
Il·lustració 56: lay-out (xassís seccionat) 3	48
Il·lustració 57: vistes del xassís amb pilot	49
Il·lustració 58: disseny del xassís (1)	50
Il·lustració 59: disseny del xassís (2)	50
Il·lustració 60: projeccions ortogonals del xassís	51
Il·lustració 61: plantilles incloses a les vistes seccionades	51
Il·lustració 62: plantilles passa - no passa de la normativa	52
Il·lustració 63: zona etiquetada (1)	52
Il·lustració 64: zona etiquetada (2)	52
Il·lustració 65: proposta de grafisme	52
Il·lustració 66: màquina tridimensional de control dimensional	53
Il·lustració 67: autoclau de grans dimensions	53
Il·lustració 68: parts del motlle	55
Il·lustració 69: zones del motlle pel laminat (1)	55
Il·lustració 70: zones del motlle pel laminat (2)	55
Il·lustració 71: simulació panell sandvitx	73
Il·lustració 72: simulació panell d'acer (mantenint espessor)	73
Il·lustració 73: simulació panell d'acer (espessor reduït)	73
Il·lustració 74: esquema del càlcul de la rigidesa a torsió proposat	76
Il·lustració 75: assaig de rigidesa a torsió (1)	77
Il·lustració 76: assaig de rigidesa a torsió (2) eix restringit	77
Il·lustració 77: assaig de rigidesa a torsió (3)	77
Il·lustració 78: importació de geometria. Ansys.	78
Il·lustració 79: malla generada. Ansys.	78
Il·lustració 80: introducció de càrregues i restriccions (1)	79
Il·lustració 81: introducció de càrregues i restriccions (2)	79
Il·lustració 82: definició de regions	80
Il·lustració 83: configuració de panells sandvitx #1	80
Il·lustració 84: configuració de panells sandvitx #2	81
Il·lustració 85: configuració de panells sandvitx #3 (1)	81
Il·lustració 86: configuració de panells sandvitx #3 (2)	82
Il·lustració 87: membres tubulars del xassís	83
Il·lustració 88: desplaçament total del xassís #3	84
Il·lustració 89: desplaçament en l'eix "z" (vertical) del xassís #3	84
Il·lustració 90: tensió equivalent segons Von Mises del xassís #3	84
Il·lustració 91: tensió tallant del xassís #3	85
Il·lustració 92: unió tipus 1	85
Il·lustració 93: unió del MRH al monocasc	87
Il·lustració 94: unió tipus 1 en un formula student	87
Il·lustració 95: unió MRH Braces al monocasc	88
Il·lustració 96: unió tipus 1 en un formula student	88

<i>Il·lustració 97: unió tipus 2</i>	89
<i>Il·lustració 98: unió tipus 2 en un formula student</i>	89
<i>Il·lustració 99: unions tipus 1 i 2 en un formula student</i>	90
<i>Il·lustració 100: zona inferior d'un formula student</i>	90

Índex de taules

<i>Taula 1: càrregues estàtiques</i>	12
<i>Taula 2: càrregues dinàmiques</i>	13
<i>Taula 3: comparativa aspectes genèrics entre tipologies de xassís</i>	17
<i>Taula 4: taula qualitativa – fase 2 – selectiva de materials</i>	24
<i>Taula 5: comparativa entre fibres</i>	27
<i>Taula 6: propietats específiques de les fibres</i>	27
<i>Taula 7: comparativa entre resines</i>	28
<i>Taula 8: altres característiques de les resines</i>	28
<i>Taula 9: comparativa entre nuclis</i>	28
<i>Taula 10: elecció material del xassís</i>	29
<i>Taula 11: comparativa entre distribucions</i>	45
<i>Taula 12: pes i dimensions de les provetes</i>	60
<i>Taula 13: procés d'assaig d'una proveta a flexió</i>	63
<i>Taula 14: dades geomètriques i càrregues de l'assaig</i>	66
<i>Taula 15: procés d'assaig a tracció del laminat</i>	69
<i>Taula 16: dimensions de les mostres dels laminats</i>	70
<i>Taula 17: definició de la proveta</i>	74
<i>Taula 18: dades i resultats d'un assaig i una simulació d'una proveta</i>	74
<i>Taula 19: relacions entre assaig i simulació</i>	74
<i>Taula 20: definició de les provetes comparatives</i>	74
<i>Taula 21: densitats dels materials</i>	75
<i>Taula 22: dades i resultats de les simulacions</i>	75
<i>Taula 23: relacions entre simulacions</i>	75
<i>Taula 24: panells a la configuració #1</i>	80
<i>Taula 25: panells a la configuració #2</i>	81
<i>Taula 26: panells a la configuració #3</i>	82
<i>Taula 27: resultats (simulacions segons configuració del xassís)</i>	82
<i>Taula 28: unió del MRH al monocasc</i>	86
<i>Taula 29: unió dels MRH Braces al monocasc</i>	88
<i>Taula 33: emissions de CO₂</i>	94
<i>Taula 34: energia utilitzada als entrenaments i competicions.</i>	95
<i>Taula 30: cost del projecte (enginyeria)</i>	97
<i>Taula 31: quantitat de fibra</i>	98
<i>Taula 32: quantitat de nucli</i>	98

objet

1 objet

1. OBJECTE

Aquest projecte consisteix en dissenyar un xassís fabricat mitjançant materials compostos i que compleix la normativa de la Formula SAE¹.

Com a breu introducció s'esmenta que als capítols d'aquest volum s'analitzen les propietats que defineixen els materials compostos i els fan atractius per a la fabricació de components al sector del *motorsport*² i s'avaluen les característiques tècniques resultants del xassís dissenyat, així com la seva fabricació, el seu cost i les implicacions ambientals que comporta.

¹SAE: Society of Automotive Engineers

²Motorsport: genuïnament es diu de les competicions on el principal actiu són els vehicles propulsats per un motor. Actualment, s'estén a la indústria de l'automòbil centrada a les competicions tan professionals com amateurs.

justificació

2 justificació

2. JUSTIFICACIÓ

La SAE va crear la competició anomenada Formula Student per a dissenyar vehicles tipus formula seguint una normativa que la pròpia “society” plantejava. Avui en dia, encara segueix vigent la competició amb la normativa evolucionada. Actualment, els equips participants estan ben estructurats, actuen amb coneixement i tenen cada cop pressupostos més elevats dins aquest petit sector proveïts per grans empreses que actuen com a patrocinadors. Entre elles, companyies automobilístiques i empreses de tot tipus, com poden ser els fabricant de composites³. Aquest fet promou la competitivitat ja existent produint que els equips treballin per tal de fabricar un vehicle guanyador. Per aconseguir-ho, cal reduir el pes del vehicle, fet que ajuda a reduir el consum del propulsor i el seu impacte mediambiental, ambdós aspectes molt valorats segons la normativa.

Els xassissos convencionals pesen al voltant dels 35-40kg i es fabriquen amb perfils tubulars d'acer. La fabricació d'un xassís amb materials compostos permet una reducció entre un 30% i un 50% del pes d'un xassís convencional sense comprometre les característiques mecàniques del vehicle. En concret, els valors de rigidesa a torsió que s'assoleixen són força elevats i, a més, l'estètica del conjunt surt beneficiada a l'actuar, el xassís, com a carrosseria.

S'afegeix que el sector dels vehicles de competició i els materials compostos són dues temàtiques de gran motivació per part de l'autor del projecte.

³Composites: materials compostos

especificacions

bàsiques

**3 especificacions
bàsiques**

3. ESPECIFICACIONS BÀSIQUES

Les especificacions bàsiques d'aquest projecte mostren totes aquelles dades genèriques que defineixen com ha de ser el xassís que es dissenya.

- Ús d'un material compost.
- Disseny tipus monocasc.
- Complir la normativa de la SAE:
 - Complir restriccions d'espai imposades per les plantilles del cockpit⁴.
 - Provar l'equivalència d'unions
 - Mostrar assajos de materials
- Respectar l'espai corresponent per les etiquetes de les proves estàtiques.
- Aconseguir un pes menor a 20kg.
- Aconseguir una rigidesa a torsió $\cong 1-5 \text{ kJ/}^\circ$.

Veure annexos, punts 3 i 4, pàgines 7 i 8 per trobar el resum de dades en relació a la rigidesa d'un xassís i l'estudi ergonòmic del mateix.

⁴Cockpit: habitacle d'un vehicle. Zona on es situa el pilot per conduir.

abast

4 abast

4. ABAST

Per a dur a terme el projecte es planifiquen les següents tasques generals. Per tant, en aquest document es mostra la definició del projecte, el seu disseny, càlcul i experimentació.

- Planificació i definició del projecte
- Disseny d'un xassís.
 - o Disseny dimensional
 - o Elecció de materials
 - o Solució per a les unions dels components del vehicle
 - o Simulacions per elements finits: obtenció de la rigidesa a torsió
- Assaig d'una proveta.
- Avaluació d'impacte medi ambiental.
- Estudi econòmic.
- Plec de condicions.
- Redacció d'una memòria i uns annexos.
- Realització d'uns plànols.
- Realització d'una presentació final del projecte.

objectius

5 objectius

5. OBJECTIUS

L'objectiu principal del projecte és **aprendre** a dissenyar un xassís i a tractar els materials compostos.

Es pretén realitzar el **disseny** d'una estructura capaç de suportar els esforços deguts a la dinàmica d'un vehicle tipus Formula Student per aconseguir que sigui suficientment rígida per tal que els sistemes de direcció i suspensió treballin correctament.

Es vol **validar** el disseny mitjançant càlculs per elements finits que caldrà complementar amb càlculs convencionals. I, es fabricarà una proveta per extreure'n prou dades per tal d'assegurar la validació realitzada.

antecedents

6 antecedents

6. ANTECEDENTS

La necessitat de desplaçar-se a estat un dels principals objectius de l'ésser humà. L'evolució de la nostra espècie juntament amb els coneixements tècnics adquirits han produït multitud d'invents que han estat millorant amb el pas dels anys. Per exemple, s'inventa la roda i amb ella els carros i vehicles terrestres de tot tipus.

Actualment, els automòbils estan formats per:

Xassís: estructura o esquelet on s'hi munten els altres components del vehicle.

Powetrain⁵: components que s'encarreguen de generar el moviment del vehicle i transmetre'l a les rodes.

Rodadura, direcció i suspensió: components encarregats de transmetre el moviment general pel moto propulsor al terra, permetre la conducció del vehicle i oferir comoditat enfront als obstacles de les carreteres.

Carrosseria: components no estructurals del vehicle que formen la pell d'aquest i, per tant, aporta estètica.

Entrant en profunditat en les funcions d'un xassís, aquest, principalment ha de suportar i transmetre càrregues estàtiques i dinàmiques.

Les càrregues estàtiques presents en un vehicle són totes aquelles masses que el formen i que, per l'actuació de la gravetat, tenen la tendència a caure i han de ser suportades.

ORIGEN	FENÒMEN	ACTUACIÓ DE LA CÀRREGA
Moto rpropulsor	Recolzament de la massa suspesa al xassís del vehicle	Forces verticals
Carrosseria		
Habitacle		
Passatgers		
Pes propi del xassís		

Taula 1: càrregues estàtiques

Cal destacar que els components de la rodadura i la suspensió són components anomenats massa no suspesa, ja que estan recolzats al terra a través de les rodes i no formen part de les càrregues estàtiques. Anàlogament, les càrregues estàtiques anomenades es consideren com la massa suspesa del vehicle.

⁵Powertrain: propulsor. Conjunt del vehicle format pels components que produeixen el moviment de les seves rodes.

Les càrregues dinàmiques són aquelles que s'originen amb el vehicle en moviment.

ORIGEN	FENÒMEN	ACTUACIÓ DE LA CÀRREGA
Acceleració	Acceleració longitudinal de la massa suspesa	Força longitudinal
Transmissió	Parell de torsió generat als paliers	Torsió
Frenada	Acceleració longitudinal de la massa suspesa	Força longitudinal
Direcció	Acceleració lateral de la massa suspesa	Força lateral
Amortidors	Càrrega aplicada al punt d'amortiment	Torsió i flexió
Aerodinàmica	Resistència a l'avanç del vehicle	Forces longitudinal i lateral
Impactes	Transmissió de la quantitat de moviment	Forces en zona d'impacte
Motor, pista	Vibració de l'estructura (possible entrada en ressonància)	Càrregues segons freqüència en origen

Taula 2: càrregues dinàmiques

Per tal de complir totes les funcions descrites, s'han ideat diferents tipologies de xassís.

Aquestes són: estructura metàl·lica tubular, plataforma base metàl·lica i monocasc. Dins d'aquests tres grups existeixen diferents xassissos dissenyats i evolucionats al llarg del temps fins a fer-se comú l'ús de dissenys similars per part dels fabricants d'automòbils.

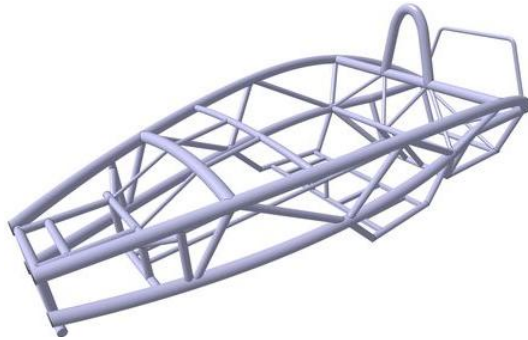
Estructura metàl·lica tubular

Aquest tipus de xassís està dissenyat per a la fabricació de petites sèries d'automòbils i prototips per a competicions. Necessiten una carrosseria per protegir l'interior de l'habitacle i els components del vehicle de qualsevol element que pugui causar danys. Els xassissos tubulars aporten gran accessibilitat als components del vehicle però poca versatilitat a ser usats com a plataforma bàsica per a diferents models degut a que el xassís pren una única forma que envolta les zones davantera, posterior i habitacle.

En aquestes estructures pren molta importància el que s'anomena "Load Paths", és a dir, la direcció que segueixen les càrregues a través dels membres de l'estructura. Això és degut al fet que cal conèixer com treballarà el xassís per predir on hi haurà majors desplaçaments i, per tant, s'haurà d'augmentar la rigidesa de la zona. Així doncs, s'explica l'ús de la triangulació a les estructures metàl·liques: augment de la rigidesa i disminució dels desplaçaments dels seus membres.



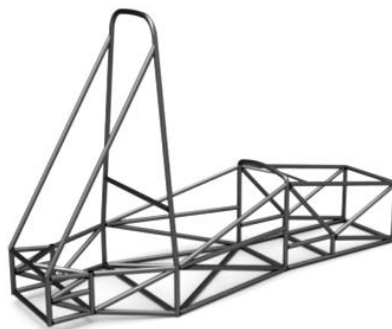
II·lustració 1: Factory Five GTM [EE.UU.]



II·lustració 2: Ariel Atom 500 '08 [Anglaterra]



II·lustració 3: Bugato aSac400 []



II·lustració 4: ecoRZ frame design'14 [Espanya]

Plataforma base metàl·lica

Existeixen diferents tipus de plataformes base per tal de formar un xassís. Com es pot observar a la il·lustració 5, una millora dels xassissos tubulars és la plataforma que substitueix els tubs per diferents perfils metàl·lics i xapes

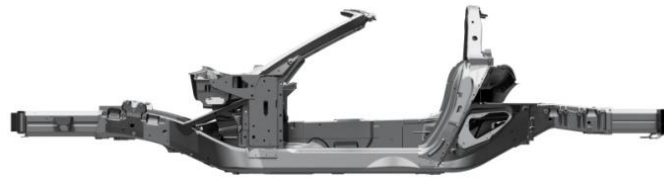
metàl·liques units entre ells. Amb aquest opció, s'optimitza l'estructura i fa que l'adaptació dels components del vehicle, com pot ser la carrosseria, sigui més fàcil i ràpida.

D'altra banda, la il·lustració 7 ofereix una imatge d'un xassís clàssic dissenyat i fabricat als Estats Units. Aquest tipus de xassís permet adaptar carrosseries diferents i doncs, utilitzar un xassís per a diferents versions de vehicle.

Com a nota diferenciadora, a la il·lustració 9 es mostra una imatge d'una plataforma que consisteix en un gran perfil central i extremament rígid que uneix les zones davantera i posterior del vehicle.



Il·lustració 5: Volvo V40 '96 [Suècia]



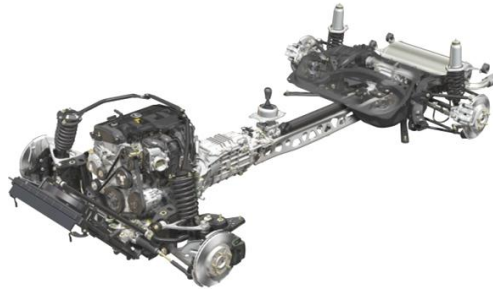
Il·lustració 6: Chevrolet Corvette Stingray '14 [EE.UU.]



Il·lustració 7: Chevrolet Classic Frame '55-'57 [EE.UU.]



Il·lustració 8: Audi R8 Spyder '09 [Alemanya]



Il·lustració 9: Mazda MX-5 '96 [Japó]

Monocasc

Els xassissos monocasc ofereixen una gran rigidesa en relació al pes del mateix. El seu disseny integra diferents zones sense haver de ser unides gràcies a la seva fabricació. Aquesta es basa en la formació de sandvitxos consistents en diferents capes de teixit de fibres unides amb una matriu (resina), un cor d'un material lleuger que proporciona rigidesa, i un altre grup de capes de fibra i resina.

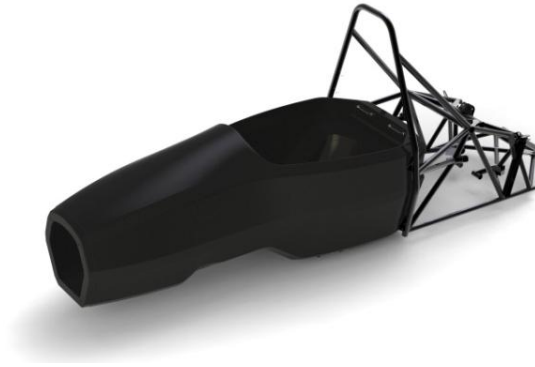
Zones del conjunt actuen, també, com a part de l'habitacle i com a carrosseria. A les il·lustracions següents es posa de manifest que aquest tipus de xassís té diverses funcions: estructural, seguretat (primera barrera de protecció), estètica i aerodinàmica.



Il·lustració 10: Porsche 918 Spyder '14 [Alemanya]



Il·lustració 11: McLaren MP4-12C '11 vs McLaren MP4/1-F1 '81 [Anglaterra]



Il·lustració 12: Formula Student Xassís Híbrid



Il·lustració 13: Formula Student Xassís Monocasc

Seguidament, es destaquen les característiques generals de cada tipologia de xassís.

TIPOLOGIA DE XASSÍS	AVANTATGES	INCONVENIENTS
Tubular	<ul style="list-style-type: none"> - Senzillesa en disseny - Senzillesa en càlcul - Cost baix 	<ul style="list-style-type: none"> - Package⁶ - Pesat - Menor varietat de carrosseries
Plataforma	<ul style="list-style-type: none"> - Package - Vàlid per a diferents vehicles - Fàcil de fabricar 	<ul style="list-style-type: none"> - Pesat - Menors prestacions tècniques - Cal reforç per competicions
Monocasc	<ul style="list-style-type: none"> - Lleugeresa - Rigidesa a torsió - Xassís fa de carrosseria - Disseny en funció de les càrregues 	<ul style="list-style-type: none"> - No existeix deformació - Cost elevat - Dificultat de càlcul - Package

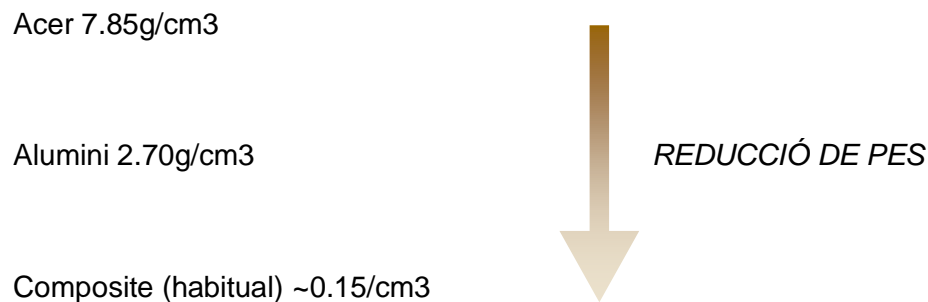
Taula 3: comparativa aspectes genèrics entre tipologies de xassís

⁶Package: distribució de components en una zona determinada. Una distribució que permet tenir fàcil accés o substitució a tot component d'un conjunt i/o que permet reduir l'espai que ocupen aquests, és un bon package.

Seguidament, es profunditza dins la descripció dels xassissos monocasc.

CONCEPTE

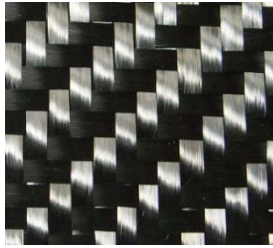
La cerca per aconseguir un vehicle més lleuger és la principal motivació que ha fet que els equips de competició trobin noves solucions al disseny del seus vehicles. Com s'ha vist a la descripció de tipologies de xassís, els materials utilitzats són l'acer, l'alumini i els compostos format per dues cares de fibra de carboni, habitualment, amb matriu de resina d'epòxid i amb un nucli d'un altre tipus de material.



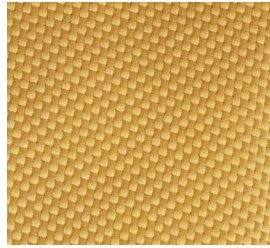
Il·lustració 14: densitat Materials

Però, com es pot trobar al següent punt de la memòria, hi ha múltiples combinacions de fibres i matrius amb les quals de formar un material compost. A més, cal definir les propietats que faran a un d'ells o varis apropiats per l'aplicació que tracta el projecte.

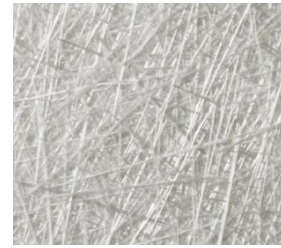
La fibra de carboni, de vidre i d'aramida (Kevlar, com a nom comercial del fabricant DuPont) juntament amb resina de poliepòxid (o d'epòxid) i espumes formen els compostes més habituals per aplicacions tècniques. També, es pot trobar fibres naturals, altres resines termostables i termoplàstiques, espumes de PVC, PET, PMI, SAN, PU i nuclis de material tipus niu d'abella (honeycomb), habitualment d'alumini o fins i tot bloc de fusta de balsa.



II-lustració 15: fibra de carboni



II-lustració 16: fibra d'aramida



II-lustració 17: fibra de vidre



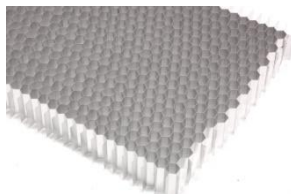
II-lustració 18: resina d'epòxid i catalitzador



II-lustració 19: resina de vinilèster



II-lustració 20: resina de polièster



II-lustració 21: honeycomb d'alumini



II-lustració 22: espuma de PET



II-lustració 23: espuma SAN

selectiva de materials

**7 selectiva de
materials**

7. SELECTIVA DE MATERIALS

La idea principal d'una selecció de materials és exposar quines possibilitats existeixen alhora de dissenyar i fabricar un producte. Al mateix temps, es pretén escollir un dels materials com l'ídoni per realitzar-ho.

El cas ideal constaria de dissenyar, calcular, avaluar i construir prototips amb cadascun dels materials que es pressuposen acceptables pel propòsit. Però, l'abast dels projectes i la programació d'aquests no acostumen a donar lloc a aquesta quantitat de recerca, a més, els costos dels prototips no serien assumibles. D'altra banda, el material resultant de la selectiva és utilitzat per a fabricar una proveta i extreure'n dades mitjançant assajos.

Per tant, el procés que es segueix en aquest projecte és el de mostrar una sèrie de materials, les seves característiques i com s'avaluen entre ells per tal de finalitzar el procés escollint-ne un entre ells i passar a la fase de disseny i càlcul.

Com bé s'explica a l'objecte del projecte (primer apartat), es pretén dissenyar un xassís monocasc mitjançant materials compostos.

Els materials compostos són formats per un mínim de 2 materials físicament diferents i que es poden separar l'un de l'altre. El principal avantatge d'aquest tipus de materials és que es combinen les propietats dels materials que el formen generant unes propietats finals molt superiors a una simple suma degut a que aquests es fabriquen pensant en la seva utilització final.

Per tant, des del formigó o la fusta fins la fibra de carboni amb matriu d'epòxid, passant pels propis ossos, són exemples de materials compostos.

El formigó està format per ciment, arena, grava i aigua; a més, si s'introdueixen barres d'acer corrugat s'aconsegueix millorar la resistència a la tracció. *Veure Il·lustració 24.*

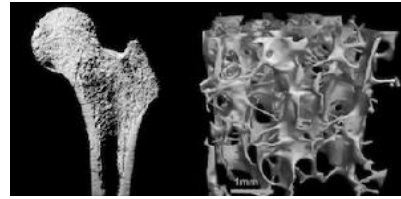
Els ossos estan formats per teixit ossi (dur) i teixit fibrós de col·lagen (tou). *Veure Il·lustració 25.*

La fusta està formada per teixit fibrós de cel·lulosa i una matriu de lignina y hemicel·lulosa. *Veure Il·lustració 26.*

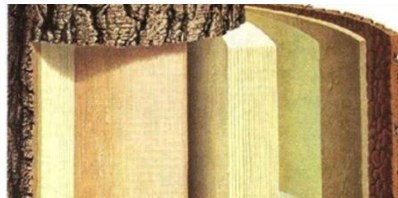
La fibra de carboni amb matriu d'epòxid està formada pels components anomenats on la fibra és un teixit amb bones propietats en la direcció d'aquestes i la matriu s'encarrega de transmetre apropiadament les càrregues i fer que les fibres quedin rígides i, doncs, es millori la flexió i es protegeixi d'agents externs. *Veure Il·lustració 27.*



Il·lustració 24: formigó



Il·lustració 25: estructura òssia

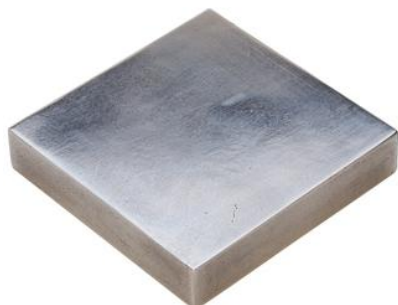


Il·lustració 26: fusta



Il·lustració 27: fibra carboni+epòxid

La major part de materials compostos es classifiquen dins del grup de materials anisòtrops, és a dir, que les propietats del material són diferents en funció de la direcció que es determini, a diferència dels isòtrops en que les propietats es mantenen constants en qualsevol direcció.



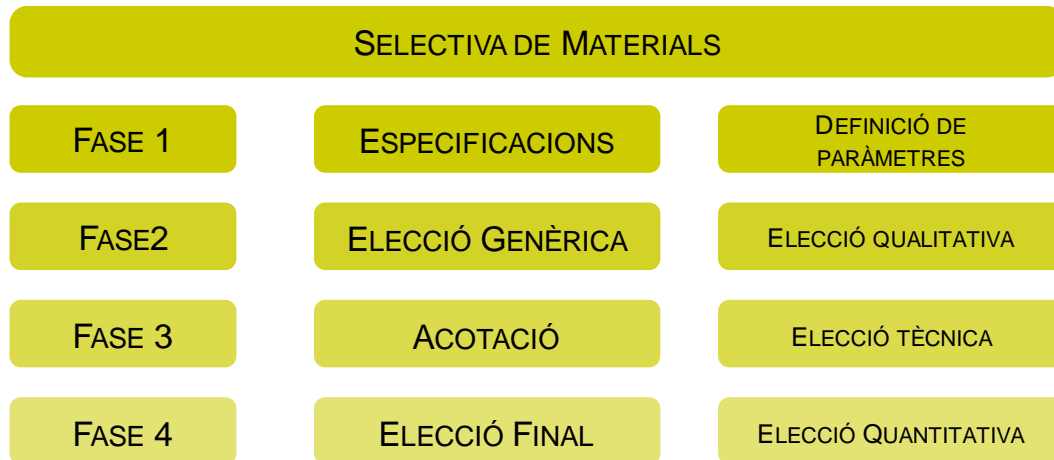
Il·lustració 28: acer – material isòtrop



Il·lustració 29: fusta - material anisòtrop

7.1 Procés de selecció

El passos que es segueixen per seleccionar el material del xassís es defineixen al següent esquema.



FASE 1

Els paràmetres que cal conèixer vénen definits per les especificacions mostrades al punt 3 del present document.

- Ús d'un material compost.
- Disseny tipus monocasc.
- Aconseguir un pes menor a 20kg.
- Suportar les càrregues indicades a la normativa.
- Aconseguir una rigidesa a torsió $\cong 1-5 \text{ kJ}^\circ$.

FASE 2

Es descarten grups genèrics de materials mitjançant els paràmetres mostrats a la primera fase de la selecció.

- Ús d'un material compost.
- S'accepten tots els grups.
- Disseny tipus monocasc.
- S'accepten tots els grups amb facilitat per conformar aquest tipus de xassís.
- Aconseguir un pes menor a 20kg.
- S'accepten materials amb densitats menors a 3g/cm^3 .
- Aconseguir una rigidesa a torsió $\cong 1-5 \text{ kJ}^\circ$.
- S'accepten materials amb elevats mòduls d'elasticitat, i materials que siguin subministrats amb formats comercials estructuralment resistents.

En la següent taula apareixen valors compresos entre l'1 i el 3. 1 és atorgat com a qualitat desfavorable, 2 com a intermèdia i 3 com a favorable.

En aquesta taula es mostren els tres grups de materials existents i, a més, s'inclouen dues tipologies amb les que manufacturar aquests. Doncs, genèricament es pot donar que un grup de materials sigui desfavorable, però, en funció del format, no ho sigui. Per exemple, es troba el cas de l'alumini, el qual té una densitat força baixa però en format espuma es converteix en un material molt lleuger i interessant per les seves aplicacions estructurals.

Material	Pes	Propietats tècniques	Coneixement	Aplicació	Sostenibilitat
Metalls	1	3	3	1	3
Ceràmiques	2	3	3	2	1
Polímers	3	1	3	3	2
Espumes	3	2	2	3	2
Fibres	3	2	2	3	2

Taula 4: taula qualitativa – fase 2 – selectiva de materials

Pes: propietat objectiu del projecte.

Propietats tècniques: necessitat de materials amb valors de resistència elevats per tal de suportar grans càrregues.

Coneixement: estat de desenvolupament dels materials en qüestió.

Aplicació: ús habitual del material com a material per a l'aplicació estudiada.

Sostenibilitat: nivell d'emissions i consum d'energia per obtenir els materials; reciclabilitat.

FASE 2

CLASSIFICACIÓ GENERALS DE MATERIALS

METALLS

CERÀMICS

POLÍMERS

ALIATGES LLEUGERS
/ESPUMES

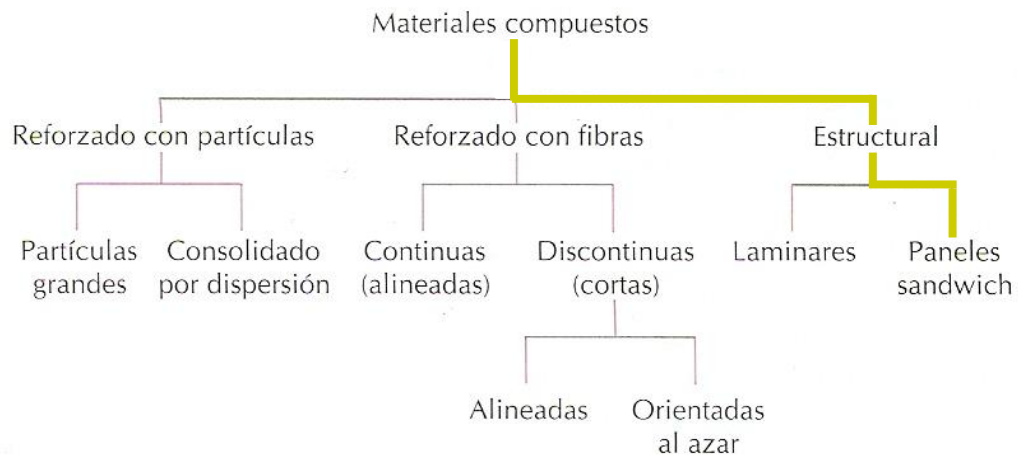
FIBRES

FIBRES/ESPUMES

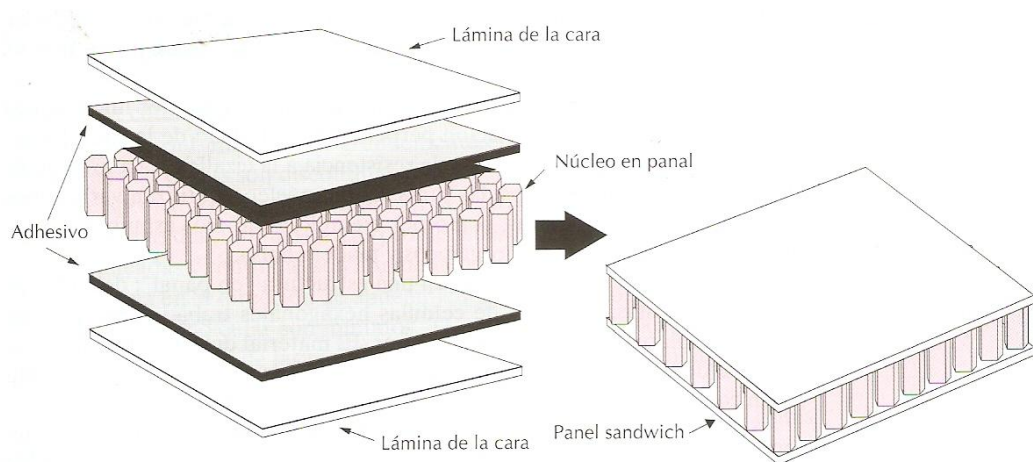
FASE 3

Per aconseguir una gran rigidesa del xassís cal dissenyar pensat en la geometria necessària per aconseguir-la però, a la vegada, el material pot fer part de la feina. Els materials compostos reforçats amb fibra tenen l'avantatge de poder aplicar capes de fibra alineada en la direcció dels esforços, per tant, es dissenya optimitzant la resistència aconseguint un mínim pes. A més, els materials

compostos capaços de formar panells sandvitx produeixen un augment de la rigidesa del conjunt i, doncs, són idonis. Però, calen materials que siguin prou bons tècnicament per tal de suportar càrregues elevades en certes zones i unions amb altres components del vehicle.






II·lustració 30: esquema tipologies de materials compostos



II·lustració 31: elements constituents d'un panell sandvitx

Els panells sandvitx són materials compostos per capes de diferents materials. Normalment, es dissenyen les capes externes dels panells tenint en compte que estan en contacte amb els agents externs per tal de conferir al conjunt protecció als rajos UV, fluids, desgast i impactes, a més de protegir el seu propi nucli o, altrament dit, "core". Doncs, es reserva el nucli per a complir funcions estructurals buscant sempre aconseguir el mínim pes possible.

La relació existent entre l'espessor del nucli i la rigidesa d'un panell és un dels principals avantatges d'aquests.

	Lámina de metal sólido	Construcción Sándwich	Sándwich de mayor espesor
			
Rigidez relativa	100	700 7 veces más rígido	3700 37 veces más rígido
Resistencia relativa	100	350 3,5 veces más fuerte	925 9,25 veces más fuerte
Peso relativo	100	103 Incremento del peso en 3%	106 Incremento del peso en 6%

II-lustració 32: espessor i rigidesa de panells sandvitx



FASE 4

A les pròximes taules de decisió apareixen els materials llistats als paràgrafs anteriors.

La primera taula mostra diferents fibres que poden ser utilitzades per a constituir la capa externa del panell sandvitx.

Material	Densitat (g/cm ³)	Mòdul elàstic (GPa)	Límit elàstic 0° (MPa)	Preu (€/kg)	Elongació (%)	Natural
Fibra de vidre	2,5	72-85	2600-4800	2,1	4-5,5	-
Fibra de carboni	1,8-2,1	186-635	1587-5313	30-150	0,9-2,1	-
Fibra d'aramida	1,45	65-186	2926-3496	30-60	2,1-3,7	-
Fibra de polietilè	1	80-170	2401-3209	---	2,9-3,6	-
Fibra de cànem	1,5	30-60	725	0,4	1,6	+
Fibra de pissarra	2,7-2,85	85-90	1080-13850	---	1	+

Taula 5: comparativa entre fibres

El mòdul elàstic i límit elàstic de les fibres està referit a la direcció longitudinal de les mateixes degut a que és on posseeixen les millors propietats i, doncs, es dissenya pensant en la direcció de les forces.

Altres dades, que són interessants, són les relacions entre propietats mecàniques i densitat. Les dades mostrades són valors aproximats.

Material	Resistència a la tracció específica (σ/ρ)	Mòdul elàstic específic (E/ρ)	Mòdul a compressió ($E^{1/2}/\rho$)	Mòdul a flexió ($E^{1/3}/\rho$)
Fibra de vidre	524	31	3.5-4.1	1.7-2
Fibra de carboni	1006-2700	100<	7.5-9.5	3.2-4
Fibra d'aramida	1061	44-129	5.5	2.7-3
Fibra de polietilè	2300-3500	80-170	9-13	4.3-5.5
Fibra de cànem	<467	20-40	3.65-5.1	2-2.6
Fibra de pissarra	900-1100	31.5	3.4	1.6

Taula 6: propietats específiques de les fibres

Aquestes dades són molt interessant si es comparen amb els valors resultants (de mitjana) pels acers i titanis.

Resistència a la tracció específica dels acers de l'ordre de 150 ($=\sigma/\rho$) i mòdul elàstic específic de 26 ($=E/\rho$). Els valors amb titani passen a ser, 225 i 27.

La segona taula mostra diferents resines que poden ser utilitzades per fixar i augmentar la rigidesa de les fibres.

Material	Densitat (g/cm ³)	Elongació (%)	Mòdul elàstic (GPa)	R.tracció (MPa)
Resina de vinilèster	1,17-1,26	3,5-7	3,3-3,5	81
Resina d'epòxid	1,17-1,30	6-8	<7	<90

Resina de polièster	1,17-1,25	<3	4,2-4,8	60-85
Resina fenòlica	1,25-1,30	<3	3	35
Polycarbonat	1,20	100~150	2-2,4	55-75
Polipropilè+Poliamida	1	50~650	1.3~2.85	33~78

Taula 7: comparativa entre resines

La matriu és el conglomerant de les fibres i, a la vegada, la carcassa del producte, doncs, la part estètica i protectora dels agents externs. Per aquest motiu, les propietats que es mostren a continuació són les de protecció i compatibilitat amb les fibres.

Material	Protecció UV	Protecció àcids	Compatibilitat	Reciclable
Resina de vinilèster	+	+	F.Vidre/	-
Resina d'epòxid	+	+	F.Carboni/Aramida	-
Resina de polièster	+	+	F.Vidre	-
Resina fenòlica	+	+	F.Vidre	-
Polycarbonat	+	-	Fibra de vidre	+
Polipropilè+Poliamida	-	-	Fibra de vidre	+

Taula 8: altres característiques de les resines

La tercera taula mostra possibles espumes que s'utilitzen com a nuclis. Hi apareixen valors compresos entre l'1 i el 3. 1 és atorgat com a qualitat desfavorable, 2 com a intermèdia i 3 com a favorable.

Material	Densitat (kg/m ³)	Propietats mecàniques	Processat	Compatible
Espuma SAN	61-315	1	+	EP/V/P
Espuma PET	75-200	1	+	EP/V/P
Espuma PVC	40-250	2	+	EP/V/P
Honeycomb d'alumini	15-800	2	-	EP/V/P
Honeycomb d'aramida	30-2300	3	-	EP/V/P
Honeycomb fibra vidre i resina	35-190	1	-	EP/V/P
Fusta de balsa	110-220	1	-	EP/V/P

Taula 9: comparativa entre nuclis

EP: resina d'epòxid

V: resina de vinilèster

P: resina de polièster

Finalment, amb caràcter de sumari, s'inclouen totes les solucions entre reforç, matriu i nucli a la taula que es mostra seguidament. Aquesta taula indica els materials que han estat millor situats a les respectives taules anteriorment vistes.

PANELLS SANDVITX		
Reforç	Matriu	Nucli
Fibra de vidre	<i>Vinilèster</i>	Espuma SAN
Fibra de carboni	Polièster	Espuma PET
Fibra d'aramida	Epòxid	Espuma de PVC
Fibra de polietilè	Fenòlica	Honeycomb d'alumini
Fibra de cànem	Polycarbonat	Honeycomb d'aramida
Fibra de pissarra	Polipropilè+ Poliamida	Honeycomb de fibra de vidre i resina
		Fusta de balsa

Taula 10: elecció material del xassís

A la taula anterior apareixen varis possibles resultats. Les combinacions possibles són 12 i existeix dificultat a comparar-les degut a la impossibilitat de trobar gran quantitat de dades en data sheets⁷ de les diferents companyies cercades. Per tant, el criteri final es basa en allò més usat en aplicacions del mateix estil.

Formula Student

L'equip McGill Racing Team dels EEUU tenen un xassís monocasc de fibra carboni i resina d'epòxid amb un nucli de honeycomb.

L'equip DUT Racing Team segueix la línia de l'anterior equip amb el tipus de xassís i no menciona el tipus de nucli.

L'equip Chalmers FS Team ha utilitzat nuclis de honeycomb d'alumini i Nomex (d'aramida) del qual destaquen facilitat de processat. En més d'una imatge es pot apreciar que utilitzen més d'un tipus de nucli en funció de les prestacions de la zona del xassís.

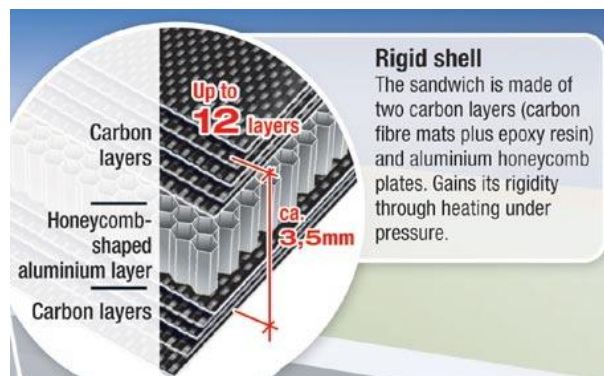
⁷Data Sheet: full de dades o full d'especificacions tècniques, en aquest cas de materials.



Il·lustració 33: nuclis d'un xassís tipus Formula Student

Fórmula 1

Els Fórmula 1 han estat pioners al desenvolupament d'aquest tipus de xassís. Actualment, utilitzen nuclis de honeycomb d'alumini.



Il·lustració 34: nucli d'un Fórmula 1

Koenigsegg

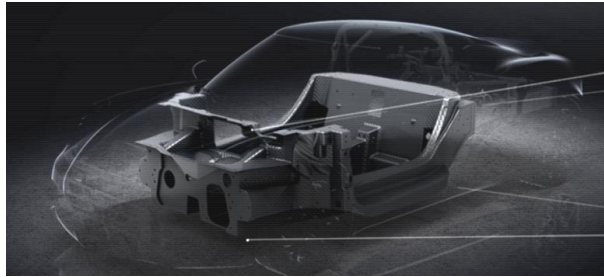
Els últims models de la marca Sueca han estat fabricats amb nuclis de honeycomb d'alumini.



Il·lustració 35: xassís monocasc del Koenigsegg Agera

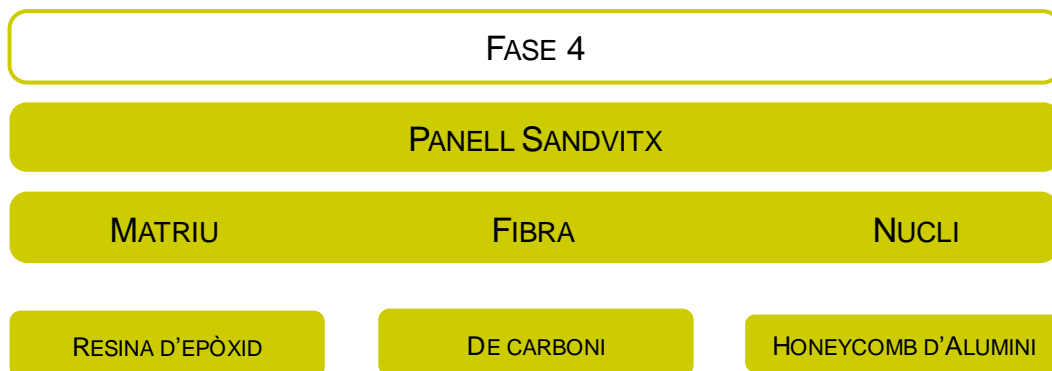
Alfa Romeo 4C

L'Alfa Romeo 4C construeix un monocasc íntegrament de fibra de carboni.



II·lustració 36: monocasc Alfa Romeo 4C

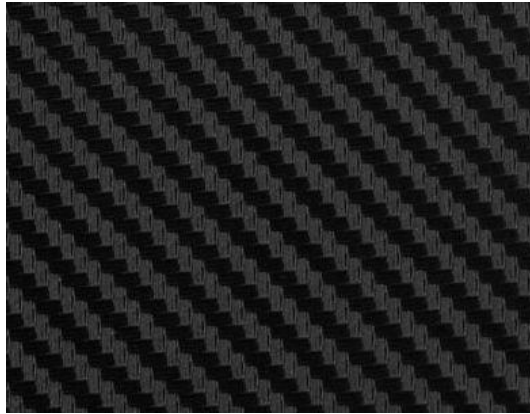
Amb totes les dades i recerca efectuada, es finalitza el quart pas d'aquesta selectiva de materials concloent l'esquema que segueix.



El material que s'escull per a dissenyar el xassís serà un **conjunt de capes de fibra de carboni amb resina d'epòxid que contindran entre elles un nucli de honeycomb d'alumini**. A les pròximes seccions del document es mostra el procés de disseny i càlcul.

Cal afegir que, per tal d'unir les capes de fibra de carboni i resina d'epòxid amb el nucli, s'ha d'utilitzar un adhesiu tipus epòxid. El fet que les capes de fibra i matriu continguin resina d'epòxid, i que la compatibilitat amb l'alumini sigui bona i contrastada amb múltiples exemples d'aplicacions, produeixen que sigui el millor adhesiu per unir totes les capes. De fet, l'ús dels anomenats preregs⁸ afavoreix que els passos a seguir per portar a terme la unió siguin mínims degut a les condicions dels propi laminat.

⁸Prepreg: làmina de fibra i matriu pre curada i preparada per ésser emmotllada directament a un útil i, posteriorment, curada a una temperatura i pressió. Prepreg prové de pre impregnació.



Il·lustració 37: fibra escollida – carboni



Il·lustració 38: resina escollida – epòxid



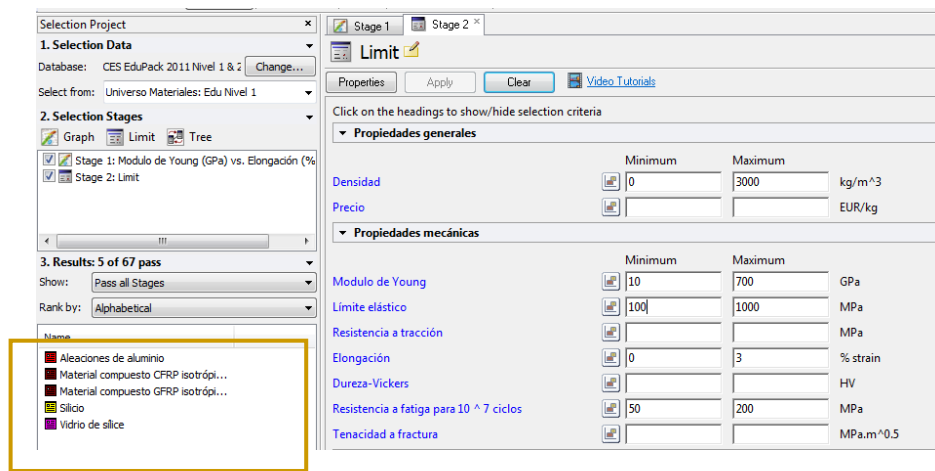
Il·lustració 39: nucli escollit - honeycomb d'alumini

7.1.1 Situació dels compostos respecte altres materials

El programa CES és un recurs idoni per realitzar una selecció de materials utilitzant dades numèriques i, a més, permet poder escollir proveïdor.

En aquest punt es proposa fer una selecció alternativa i àgil amb el rang de dades que es creuen més importants, tècnicament.

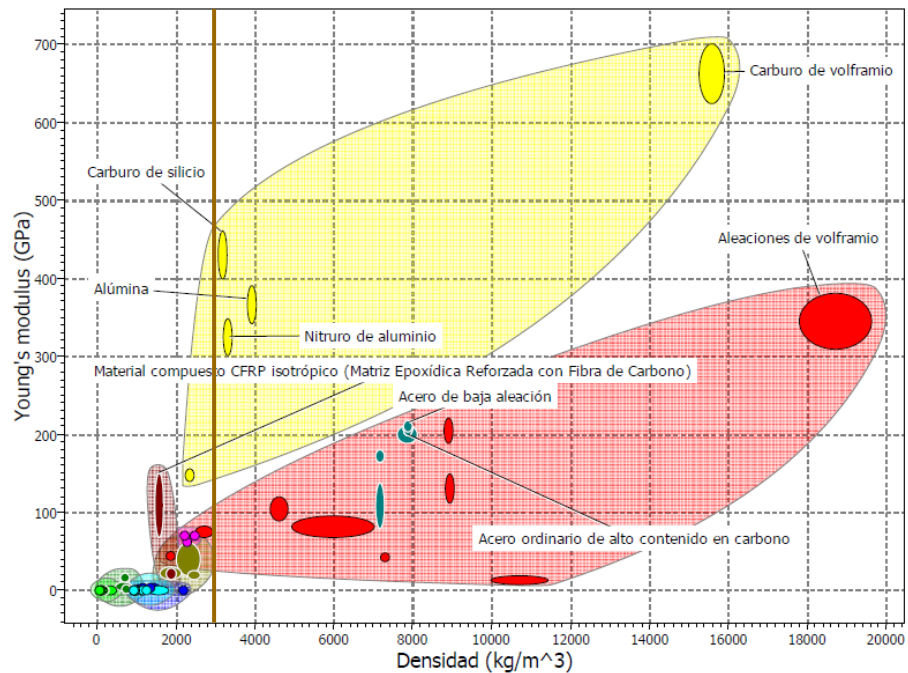
Primerament, es dona un rang de valors a les propietats: densitat, mòdul de Young, límit elàstic, elongació i, a més, s'inclou la resistència a la fatiga. 5 grups de materials sobre 67 són seleccionats com s'observa a la zona inferior esquerra de la següent imatge.



Il·lustració 40: limitacions a la cerca de materials a CES

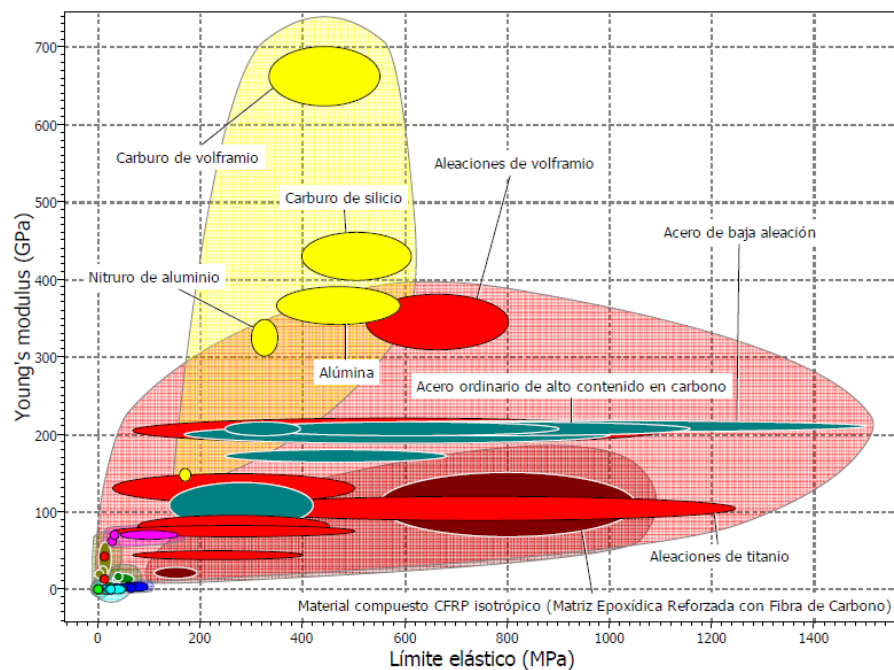
En segon lloc es creen unes gràfiques que permeten fer-se una idea de la relació entre propietats. Seguidament s'inclouen aquestes imatges.

De la primera imatge s'extreu que, dins el límit de 3g/cm³ de densitat, els compostos de fibra de carboni són dels més competitius.



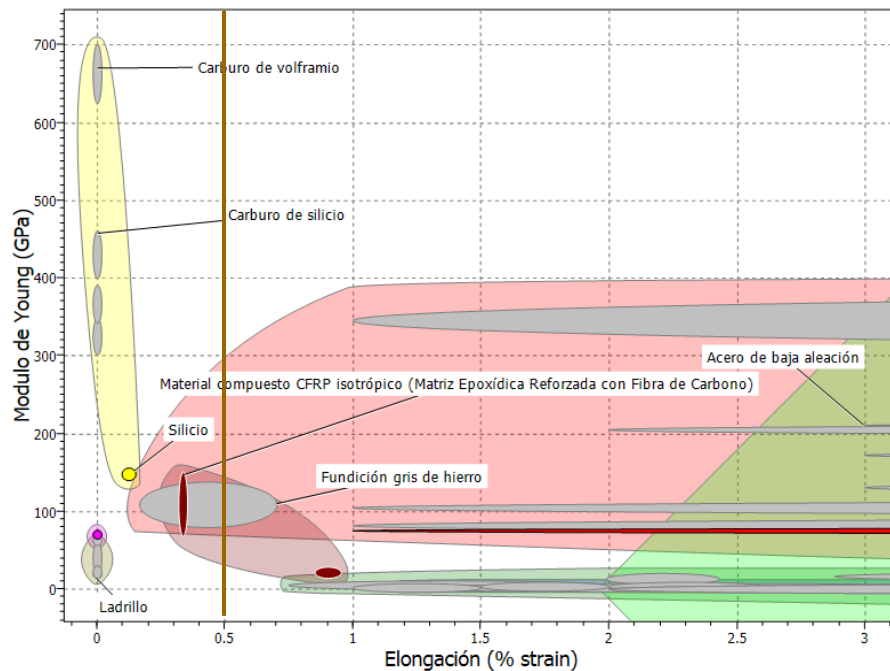
Il·lustració 41: densitat vs. mòdul de Young. CES

En quant a la relació del mòdul d'elasticitat amb el límit elàstic, s'aprecia que els aliatges d'acer, l'alúmina o aliatges de wolframi són interessants. Tenint en compte la densitat, però, els compostos tenen valors alts de límit elàstic. Els aliatges de titani també són interessant tot i no entrar al *target* de densitat. S'afegeix que els valors de mòdul d'elasticitat cercats podens er superiors als mostrats per CES.



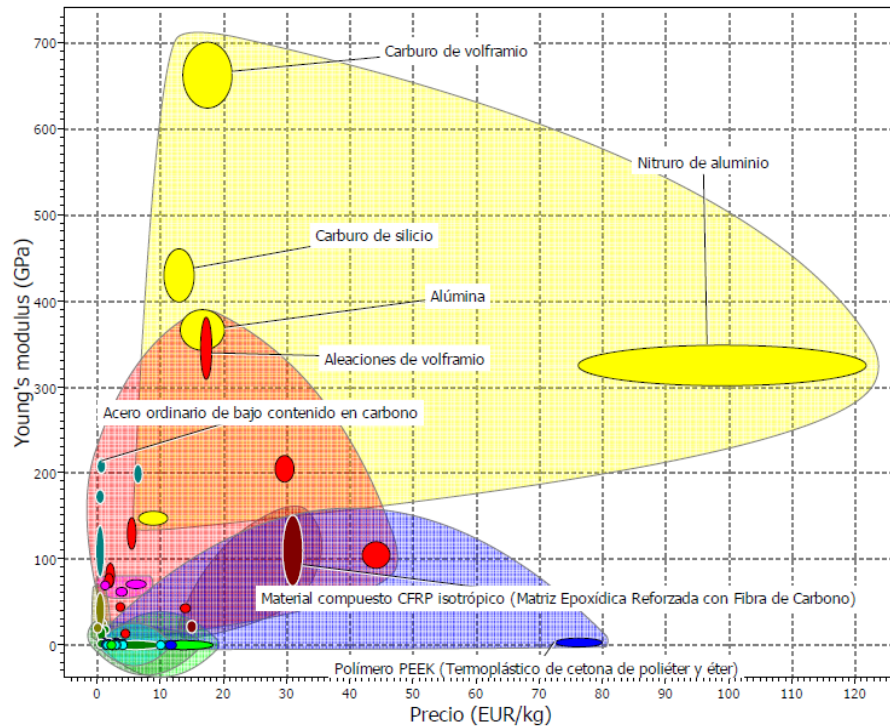
Il·lustració 42: límit elàstic vs. mòdul de Young. CES

L'elongació permet tenir una idea de rigidesa, també, ja que descriu el percentatge de deformació respecte les dimensions de la peça que pateix aquesta. La família de carburs estan afavorits. Tenint en compte que els compostos són els que millors resultats aconseguixen, en aquest cas també estan per sota de valors de 0,5%.



II·l·lustració 43: elongació vs. mòdul de Young. CES

Finalment, s'inclou la variable del preu. Els acers són prou bons, juntament amb molts altres grups de materials. En aquest cas, els compostos són els que major cost tenen. Tot i això, és clar que les empreses relacionades amb els *composites* avancen dia a dia gràcies a que s'estan popularitzant. Doncs, es creu que el preu pot arribar a ser molt més competitiu.



Il·lustració 44: preu vs. mòdul de Young. CES

7.2 Propietats dels materials escollit. Possibles proveïdors.

Aquest apartat del projecte pretén iniciar el procés de fabricar una proveta. Per tant, es necessita accedir a materials d'un proveïdor i conèixer les propietats específiques d'allò que produeixen. D'aquesta manera, els càlculs i les simulacions poden aconseguir ser prou realistes amb el material escollit i amb el que es podria assegurar el comportament d'un panell sandvitx i l'ordre de magnitud dels resultats respecte les simulacions virtuals que es duen a terme.

La llista de proveïdors la configuren les empreses indicades a sota:

- Axson: resina, enduridor i desemmotllant.
- Toray (subministrat per Selcom): fibra de carboni unidireccional
- Nucli *honeycomb* d'aramida (origen desconegut)

Veure fitxes tècniques al punt 11, *Fitxes Tècniques*, dels annexos.

disseny del xassís

8 **disseny del xassís**

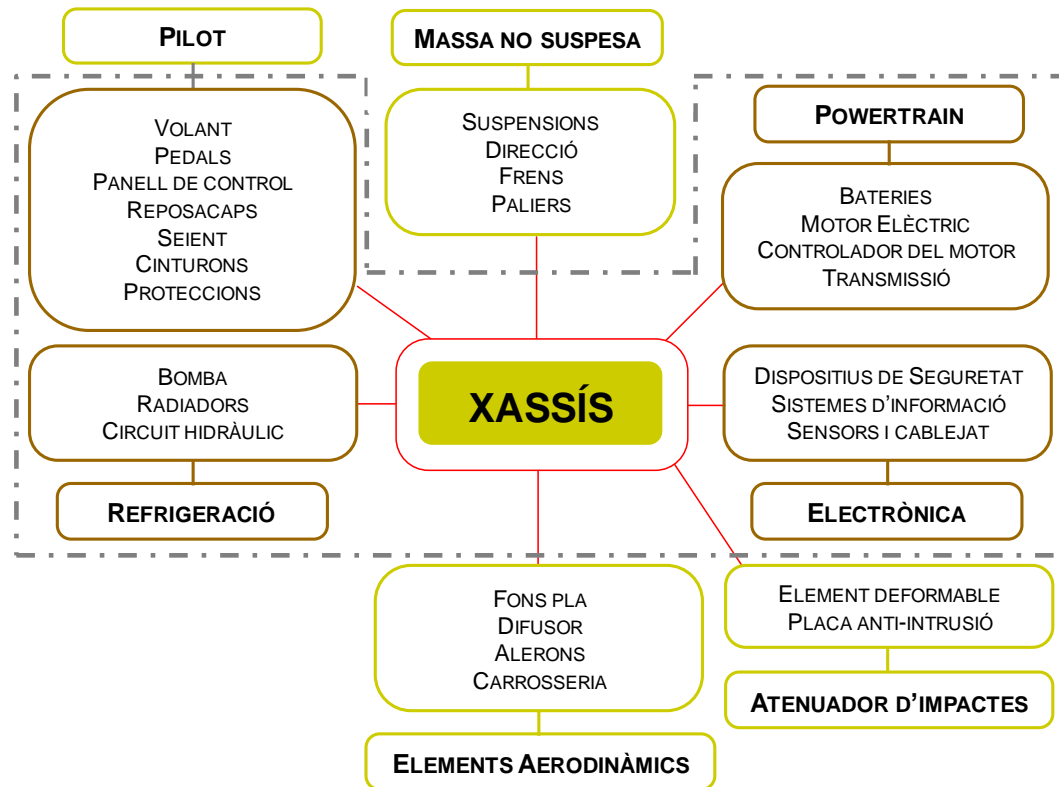
8. DISSENY DEL XASSÍS

El xassís és el nexa d'unió entre tots els conjunts del que consta un vehicle tipus Formula Student. En ell s'hi munten tots els components del sistema moto propulsor, aerodinàmics, electrònics i del cockpit.

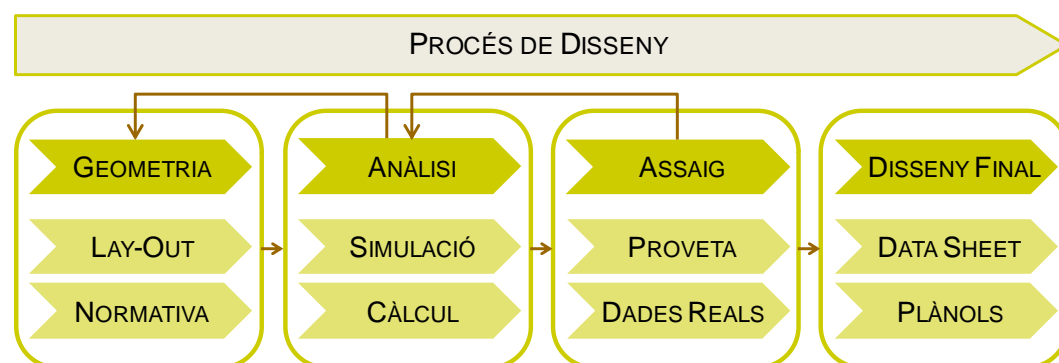
A més, s'hi afegeixen els components de l'anomenada massa no suspesa. Si es pren de referència el sòl, les rodes són els únics elements que hi contacten. En ella si munten els discs de fre i les manguetes que, a la vegada, s'hi munten el tie-rod (barra que uneix la mangueta amb la cremallera de direcció), els braços de suspensió, push-rod o pull rod (barra que uneix l'amortidor i bieleta amb la mangueta). Aquests elements, juntament amb la cremallera, amortidors i columna de direcció formen la massa no suspesa pel fet que acaben sostenint el vehicle a través del xassís.

Aquest és un nou motiu per donar sentit a la reducció de tota la massa suspesa: des del xassís fins tots els elements del moto propulsor, aerodinàmica, cockpit i electrònica. Aquesta massa ha de tenir un centre de gravetat baix. Per aquests dos fets, es pot aconseguir construir un vehicle dinàmicament eficient, és a dir, que té un comportament en corba sense variacions a la traçada i, doncs, fàcilment controlable pel pilot.

A la següent il·lustració es pot observar la relació de tots els conjunts del vehicle en relació amb el xassís.



El procés que es segueix en aquest punt i els successius (9. Càlculs i Simulacions, i 10. Assaig) segueix un ordre continu amb diverses re alimentacions en el procés de disseny.



Lay-out: distribució dels components al disseny en qüestió.

8.1 Lay-Out

En aquest punt es mostren possibles solucions per tal d'encabir tots els components al disseny del xassís.

Abans, però, cal conèixer quin tipus de vehicle formula student es vol construir.

Existeixen 3 opcions:







- Combustió
- Híbrid
- Elèctric

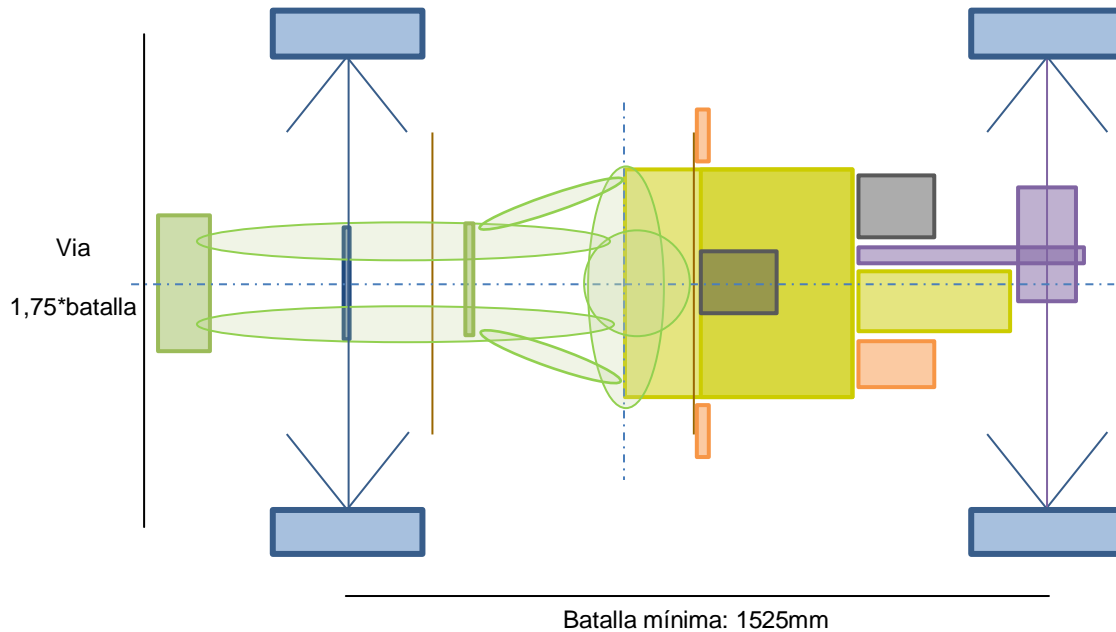
Per la proximitat de l'autor del projecte a l'equip UPC ecoRacing pertanyent a l'ETSEIAT, l'accés a informació sobre la distribució i dimensions dels components d'un vehicle elèctric afavoreixen l'elecció d'un vehicle d'aquesta categoria per tal de configurar el lay-out del xassís a dissenyar. A més, actualment hi ha grans iniciatives i inversions dins les tecnologies del sector del vehicle elèctric pel que fan que l'elecció sigui prou innovadora.

La distribució dels components pot ser variada. Hi ha múltiples opcions. En primer lloc s'ha de prendre com a referència quins elements cal que siguin situats:

- Rodes
- Pilot
- Bateries
- Motor elèctric
- Controlador del motor
- Transmissió
- Refrigeració
- Sistemes electrònics
- Amortidors
- Pedals
- Volant

A les pròximes pàgines es mostren 3 possibles distribucions i, seguidament, els beneficis de cada una d'elles. La llegenda s'inclou al final d'aquesta pàgina.

	Dinàmica
	Pilot/Cockpit
	Bateries/Motor/Controlador
	Refrigeració
	Transmissió
	Electrònica

Distribució 1

Il·lustració 45: primera distribució; cascada

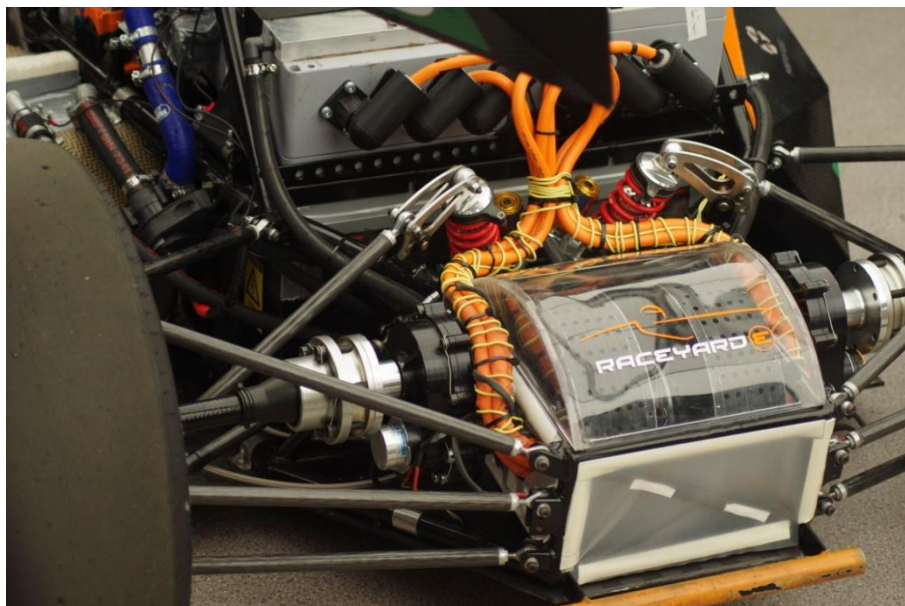
Aquesta primera distribució posiciona els elements en cascada. Les bateries i el controlador es situen un sobre de l'altre. El pilot es troba just al centre del vehicle.

Avantatges

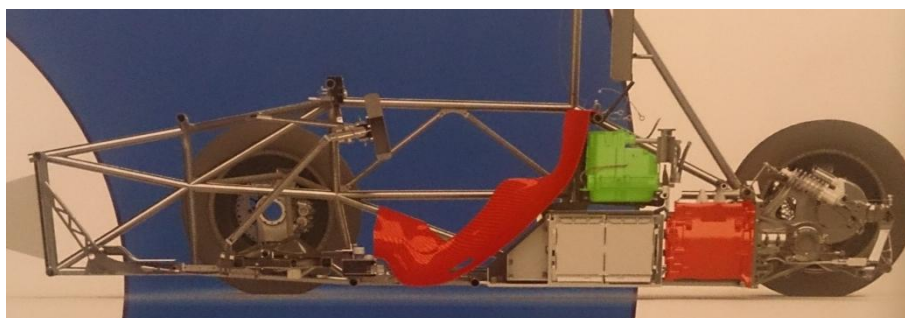
- Vehicle amb dimensions mínimes d'amplada. Xassís estret.
- Mínima àrea frontal, menor resistència a l'avanç (drag force).
- El CdG (centre de gravetat) acostuma a estar centrat transversalment.
- Carrosseria més senzilla.

Inconvenients

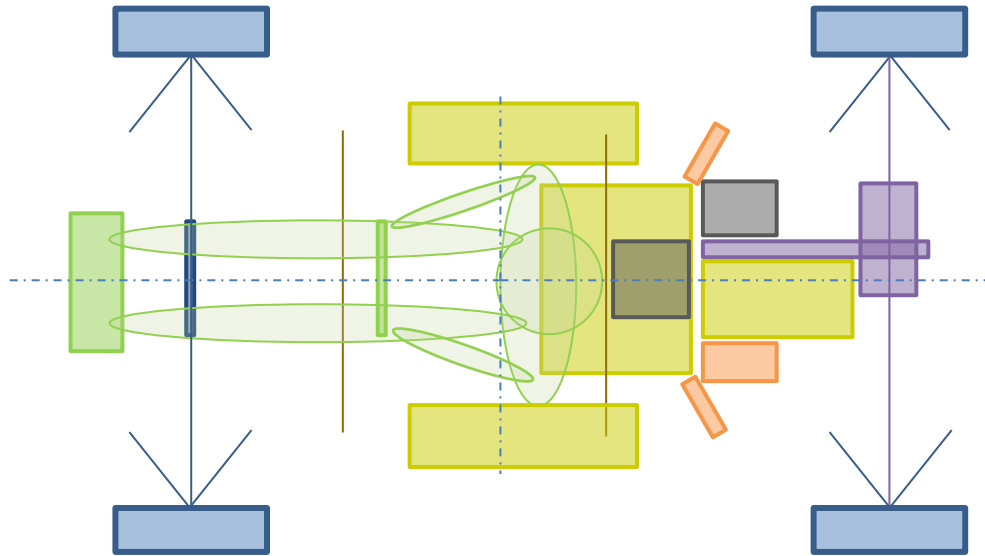
- Vehicle més llarg. Xassís llarg. En cas de córrer en circuits estrets i revirats com són els de la competició de la Formula Student, interessa tenir un cotxe curt. Millor pas per corba i menor probabilitat de tocar cons (fet que es penalitza amb 2 segons).
- CdG (centre de gravetat) amb menor probabilitat d'estar centrat longitudinalment. Allargant el vehicle frontalment, avançant el pilot, pot millorar aquest punt en detriment de la llargada. Tot i que, en cas de tenir un sistema de tracció posterior, interessa que el CdG estigui endarrerit.
- Dificultat per mantenir tots els components dins el xassís en cas de voler utilitzar la mínima batalla per normativa (1525mm).



II·lustració 46: distribució 1 en un formula student (1)



II·lustració 47: distribució 1 en un formula student (2)

Distribució 2

II·l·lustració 48: segona distribució; bateries laterals

La segona distribució proposada difereix de la primera en que les bateries es situen als laterals del vehicle, centrades longitudinalment al vehicle. La resta de components es situen en cascada i s'avancen. El pilot, pot quedar per darrera del centre del vehicle.

Avantatges

- Vehicle més curt.
- CdG (centre de gravetat) centrat. Millor comportament del vehicle.
- Tots els components i sistemes poden estar situats dins el xassís mantenint la mínima batalla per normativa (1525mm) sense dificultat.

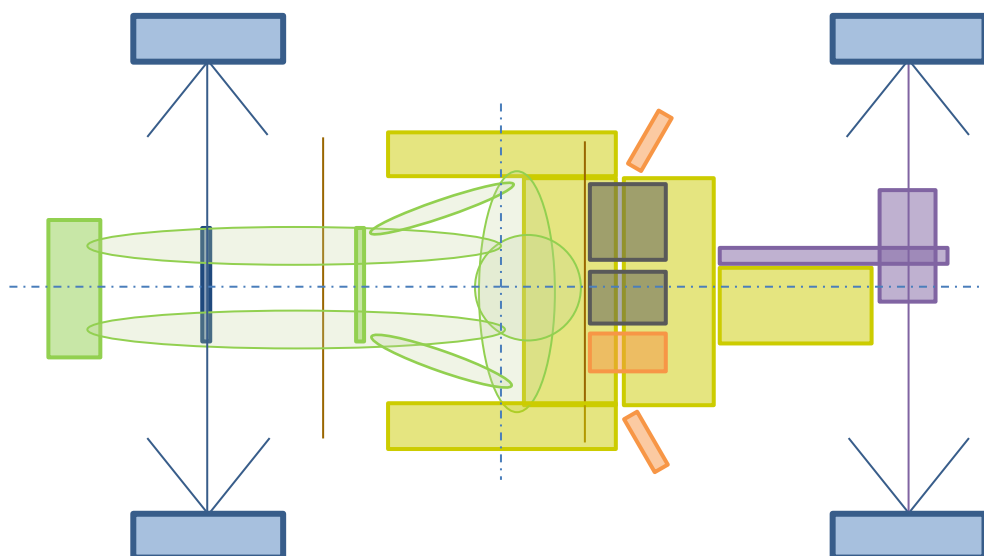
Inconvenients

- Vehicle més ample. Xassís ample.
- Carrosseria més complexa.
- Protecció addicional pel pilot degut a la situació a banda i banda del *cockpit*. Necessitat d'un xassís més complex.



Il·lustració 49: distribució 2 en un formula student

Distribució 3



Il·lustració 50: tercera distribució; bateries en "U"

La tercera proposta mostra una evolució de la segona. Les bateries es situen en "U", la qual cosa permet reduir l'amplada del vehicle perjudicant de manera poc significativa la llargada del mateix. El controlador pot estar rotat sobre ell mateix i compactar la resta de components. S'afavoreix el centratge de tota la massa a prop del CdG.

Avantatges

- Vehicle amb dimensions d'amplada acceptables.
- El CdG (centre de gravetat) acostuma a estar centrat transversalment.
- Carrosseria més senzilla.

Inconvenients

- Carrosseria menys complexa que opció 2 però més complicada que l'opció 1.
- Complicació del xassís al portar part de les bateries als laterals.

DISTRIBUCIÓ	AVANTATGES	INCONVENIENTS
1	Xassís estret Àrea frontal reduïda Carrosseria senzilla	Xassís llarg Package CdG
2	Xassís curt CdG Package	Xassís ample i complex Carrosseria complexa
3	Compromís dimensions xassís i complexitat de la carrosseria CdG òptim	

Taula 11: comparativa entre distribucions

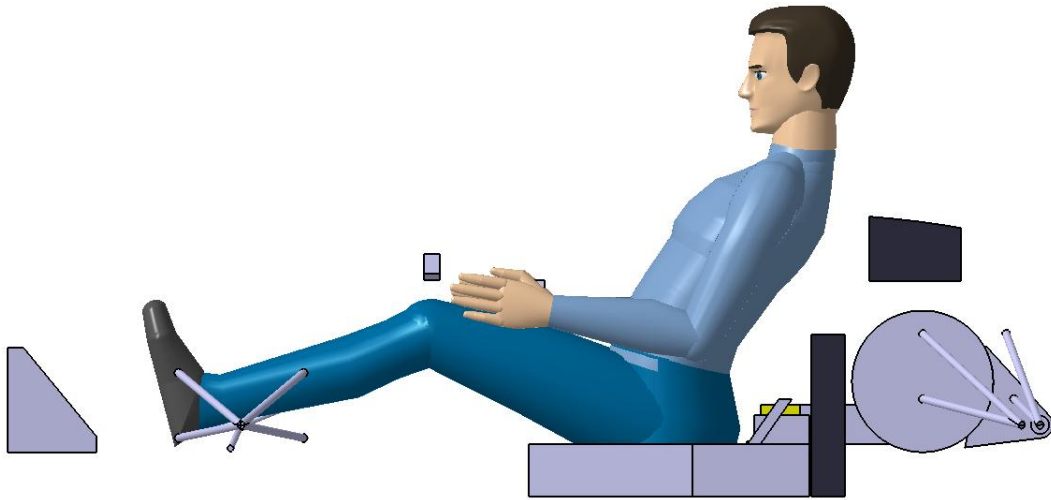
La tercera opció de distribució és l'escollida ja que aconsegueix un compromís entre la complexitat del xassís i la situació dels components, i doncs, la seva complicació al disseny muntatge i funcionament, també. El gran avantatge és que el pes està molt ben distribuït entre els dos elements més pesat: les bateries i el pilot. El centre de gravetat pot quedar ben centrat respecte la via del vehicle (distància entre rodes d'un mateix eix), es posiciona segons la batalla (distància entre rodes anteriors i posteriors) per obtenir el repartiment de pesos desitjat i, la distribució de bateries permet concentrar tot aquest pes molt a prop del CdG.

8.2 Disseny volumètric

Es dissenya el xassís tenint en compte que es pretén que sigui tipus monocasc, fabricat amb materials compostos i segons la distribució tercera indicada a l'apartat 8.1.

Primerament, es mostra un esbós com a proposta i, a continuació, s'elabora un disseny 3D mitjançant el software CAD (computer-aided design) Catia V5. En aquest arxiu CAD hi apareixen els volums dels components i sistemes descrits amb anterioritat a l'apartat 8.1 com a *caixes negres*, és a dir, volums tancats que mostren les dimensions, únicament. D'aquesta manera, tot i que dissenyar un vehicle no és l'objecte del projecte, el disseny del xassís es pot prendre com a correcte dimensionalment.

En primer lloc, es crea un entorn al pilot i als components del vehicle. Es parteix de la distribució escollida i s'ubica el pilot donant a la zona del seient un angle de 30° amb l'eix vertical 'z'.



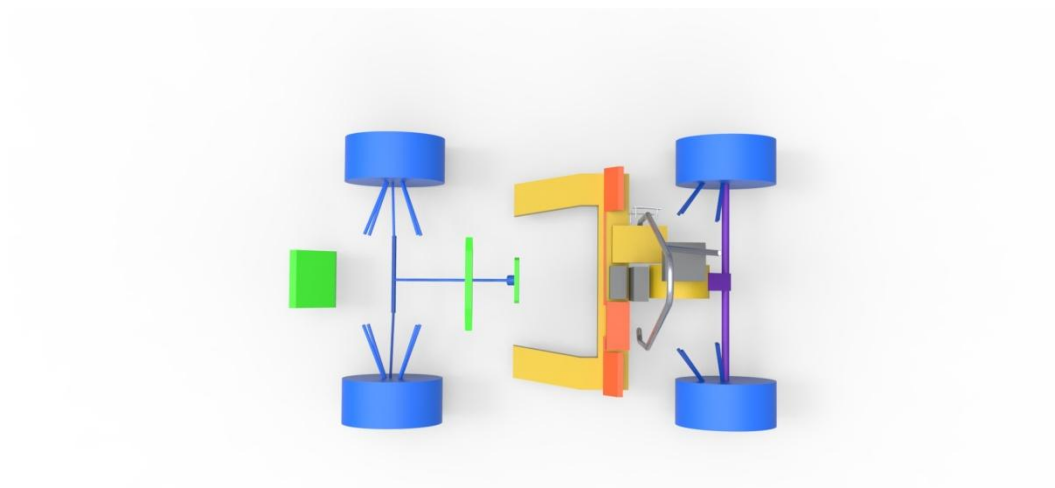
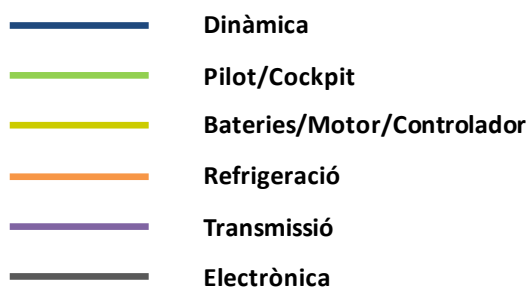
Il·lustració 51: lay-out + pilot



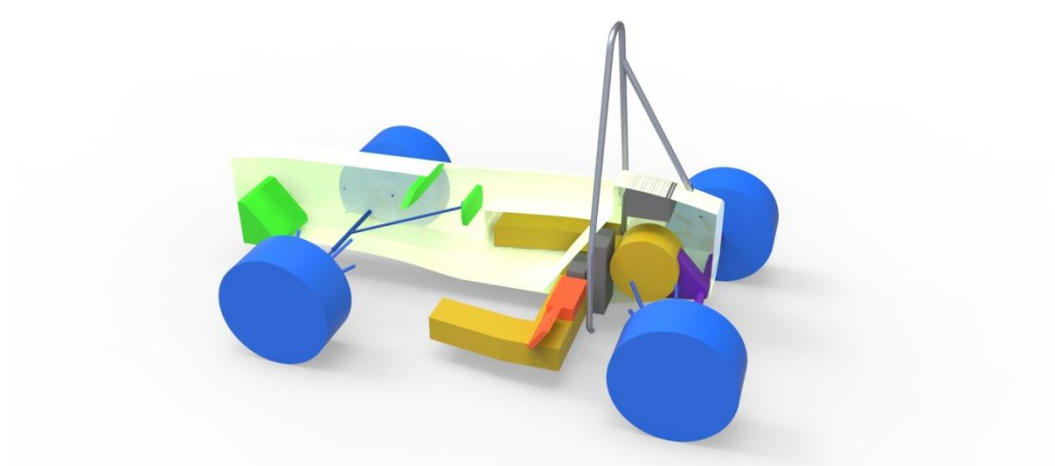
Il·lustració 52: volumetria exterior del xassís

En segon lloc, es valida la volumetria dels components segons la seva distribució. S'observen els espais lliures i amb potencial per a ser ocupats per altres components de menor importància o, pels ja mostrats amb diferent geometria, la qual sempre acaba depenent del fabricant o disseny intern que es porti a terme.

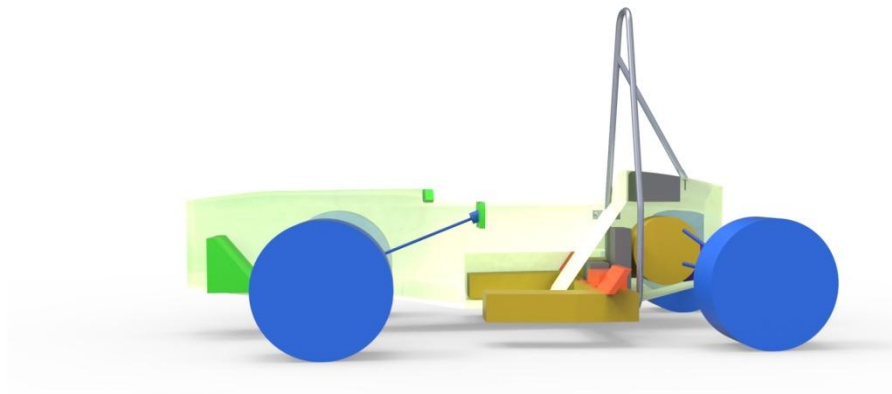
A continuació es mostren les imatges de la distribució de components (Lay-Out) descrita al punt anterior (8.1).



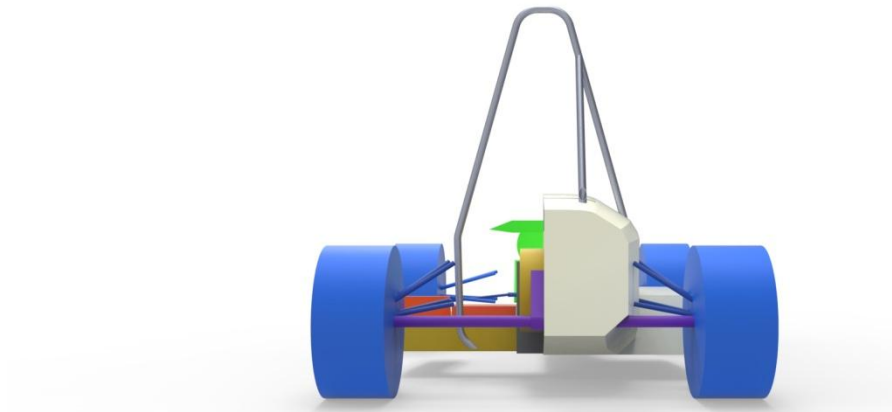
Il·lustració 53: lay-out del xassís



Il·lustració 54: lay-out (xassís seccionat) 1

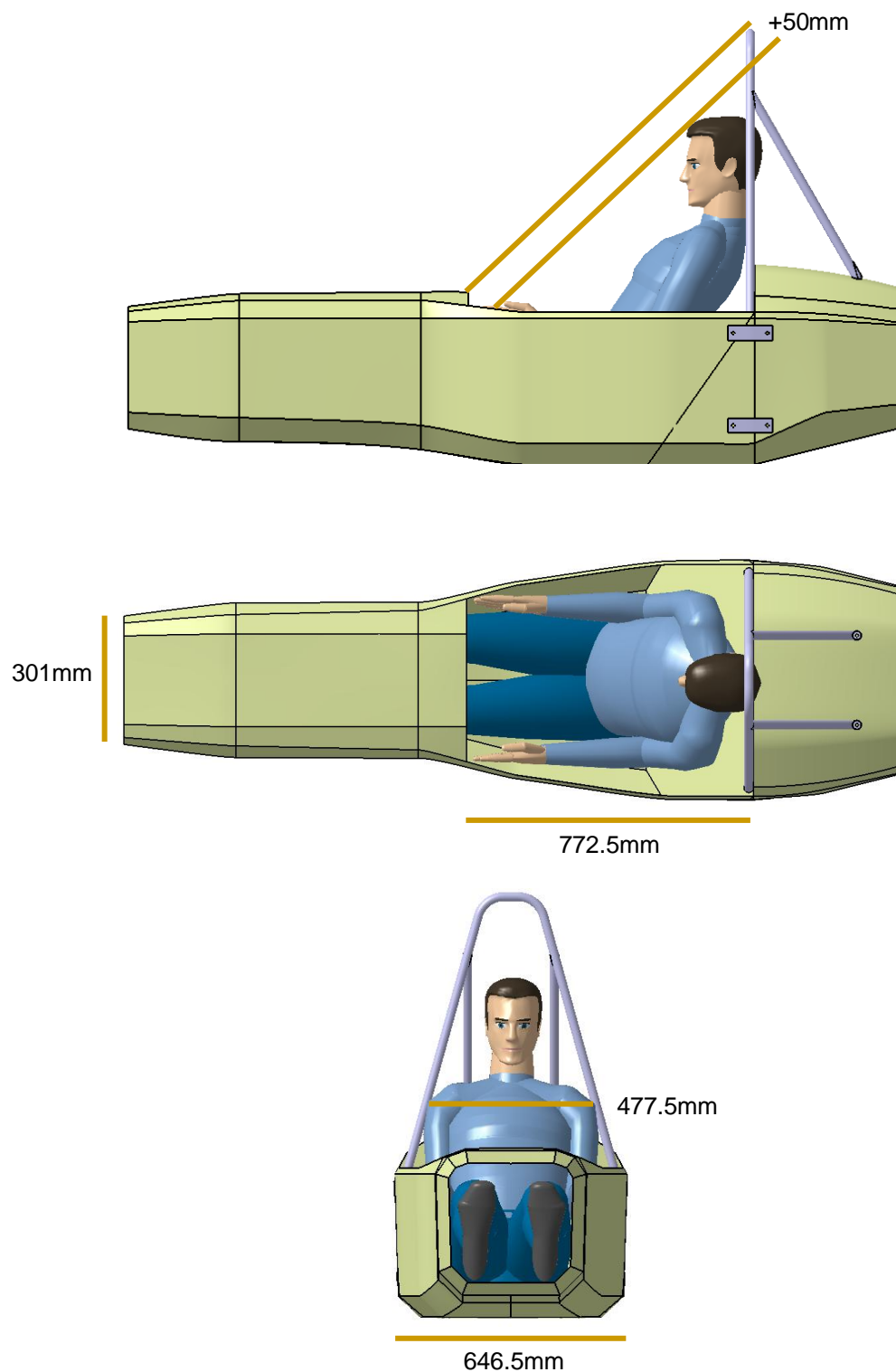


II-lustració 55: lay-out (xassís seccionat) 2



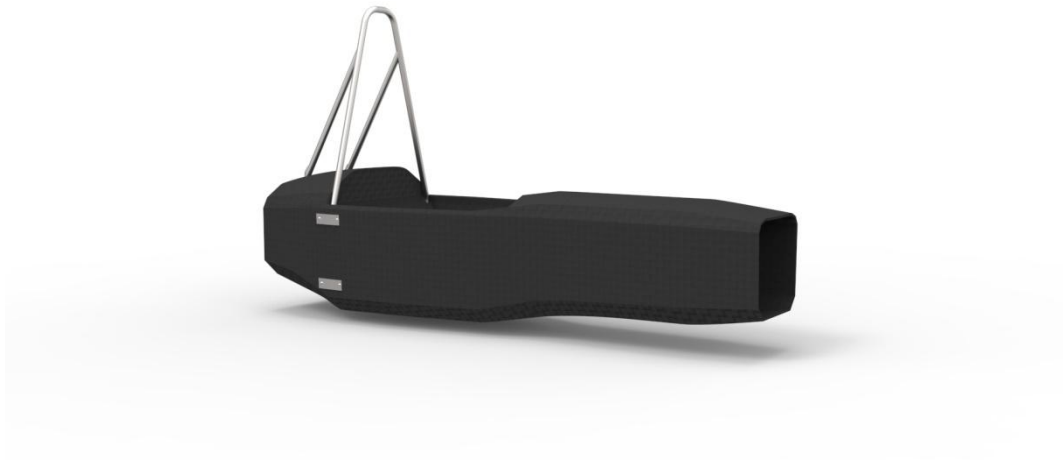
II-lustració 56: lay-out (xassís seccionat) 3

Adicionalment, es decideix realitzar un estudi ergonòmic. S'ubica un volum que representa una persona amb percentil 95 masculí, establert per normativa, el qual serveix de guia per a l'organització dels esdeveniments de la formula student per tal de certificar el compliment de part de la mateixa. A part de les plantilles que apareixen en aquest punt, existeix una distància màxima entre el volant i la part inicial de l'habitacle, 200mm, i també un mínim de 50mm entre el casc del pilot i la línia imaginària que es pot traçar entre la part superior del "main roll hoop" i la part inicial de l'habitacle. A més, es situa la zona de pedals, volant i seient i s'observen les distàncies resultants entre xassís i pilot. Tot plegat ha permès arribar a obtenir el disseny mostrat, on es compleix normativa i s'assegura un mínim de comoditat pel pilot.



Il·lustració 57: vistes del xassís amb pilot

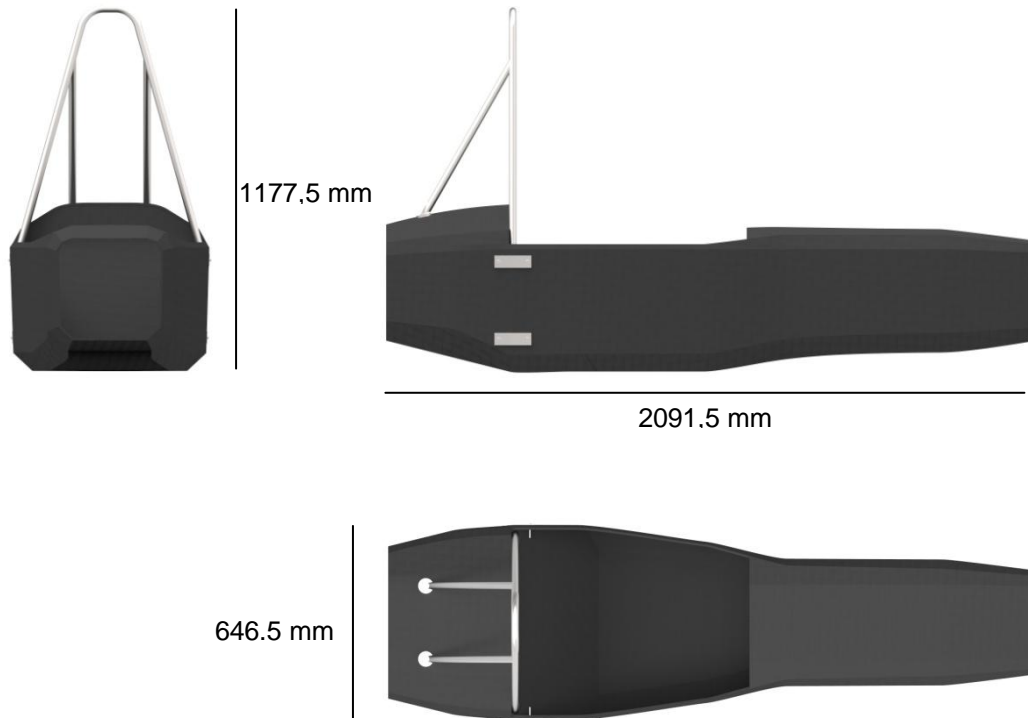
Finalment, es creen imatges realistes del disseny produït. S'utilitza la simulació de l'acer i la fibra de carboni com a materials aplicats a les imatges.



Il·lustració 58: disseny del xassís (1)

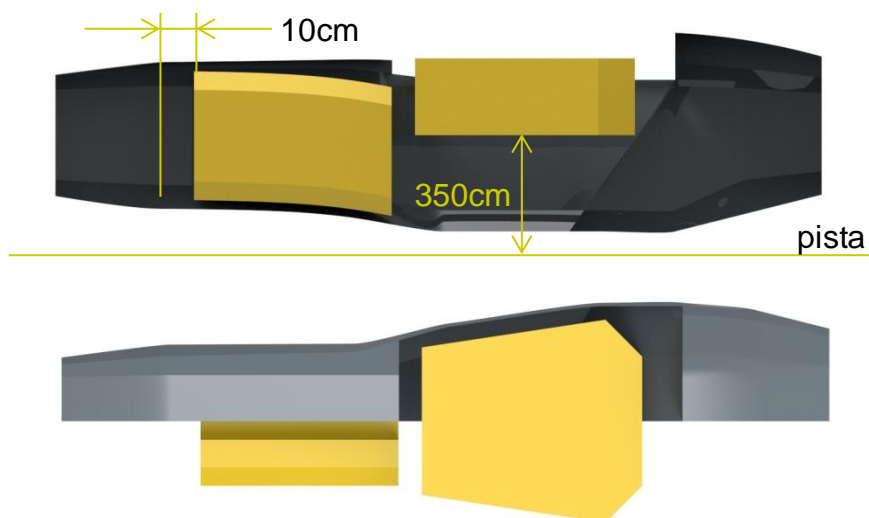


Il·lustració 59: disseny del xassís (2)

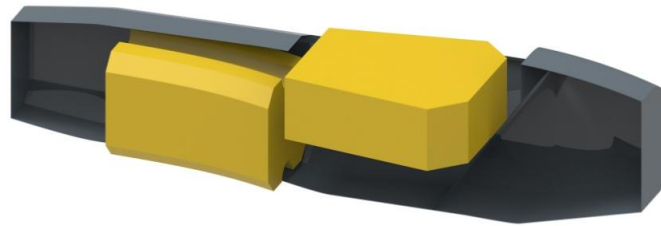


Il·lustració 60: projeccions ortogonals del xassís

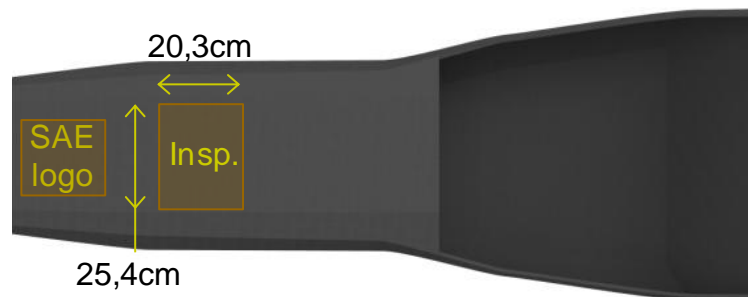
Com s'ha mencionat, es compleix l'objectiu de complir la normativa en quant a plantilles del *cockpit* i d'espai reglamentari per etiquetes d'inspecció, nom de l'escola, número i logotip de la SAE. *Veure annexos, punt 2, pàgines 3 a 6, on es mostren articles de la normativa en referència al disseny volumètric.*



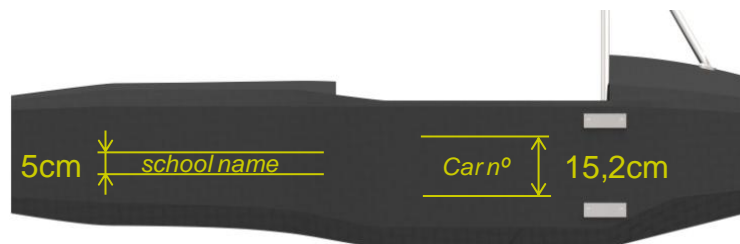
Il·lustració 61: plantilles incloses a les vistes seccionades



II·lustració 62: plantilles passa - no passa de la normativa

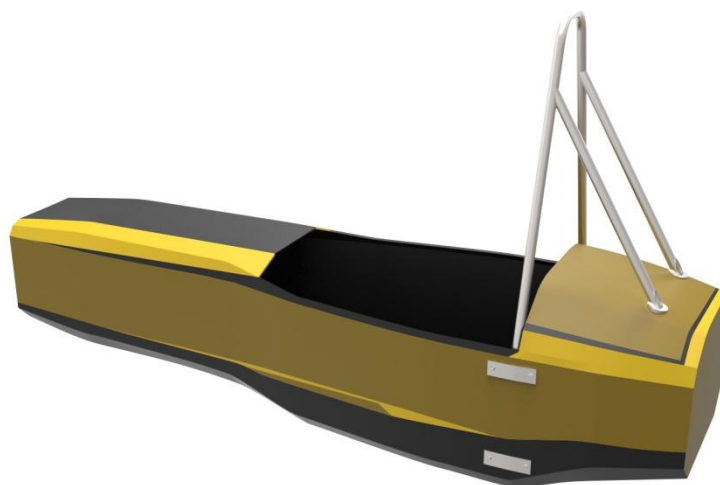


II·lustració 63: zona etiquetada (1)



II·lustració 64: zona etiquetada (2)

I, es mostra una de les múltiples propostes de grafisme amb que el cotxe podria aparèixer.



II·lustració 65: proposta de grafisme

8.3 Disseny per a la fabricació

Per tal de fabricar el monocasc dissenyat cal seguir una sèrie de passos resumits en 3 grans bloc: preparació d'utilitatges, eines i material; modelat utilitzant el motlle i un autoclau; acabats. A més, per garantir la qualitat del monocasc, és interessant portar a terme un control dimensional del producte. Concretament, allò que és més crucial a controlar són els punts d'unió amb altres components.



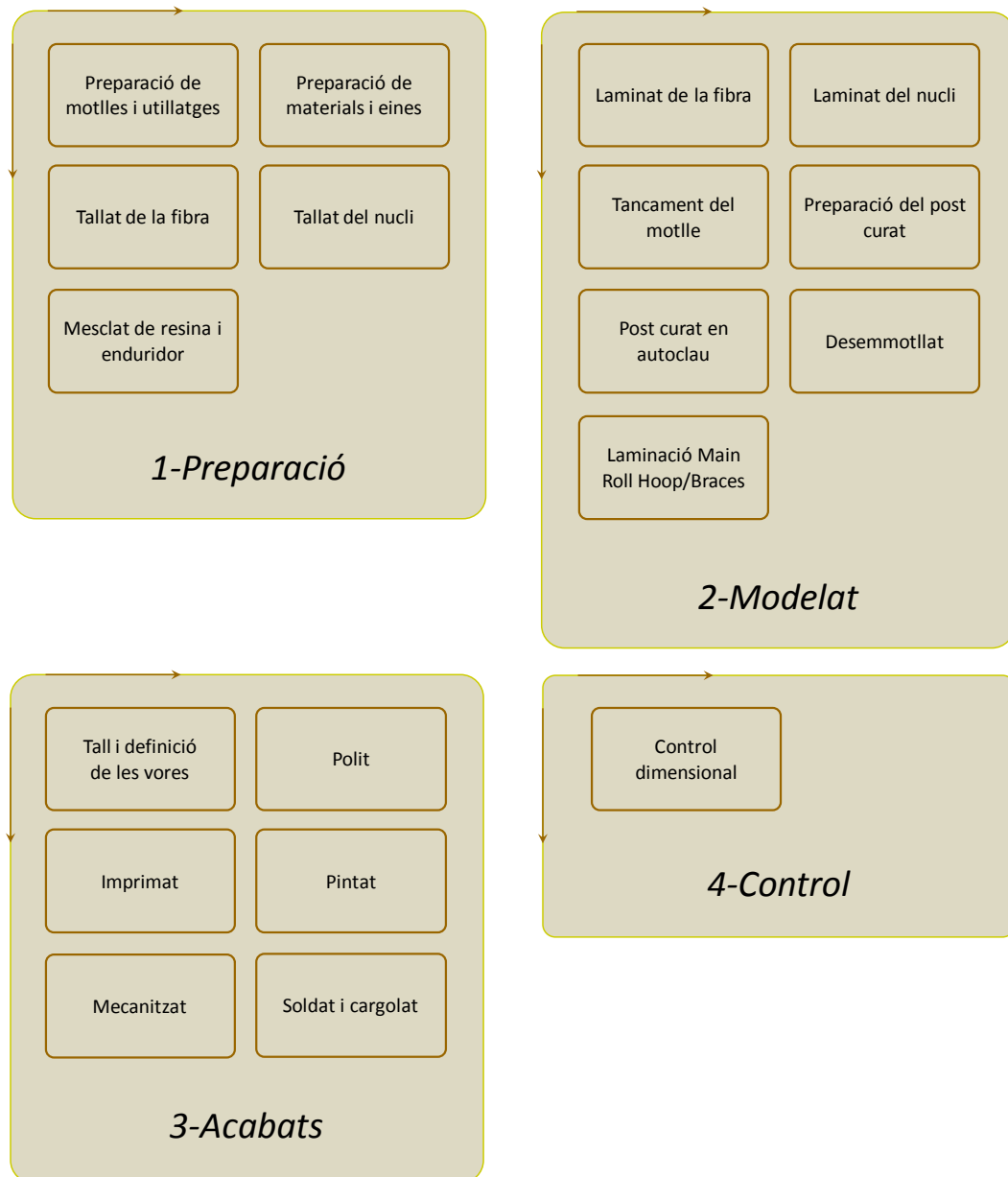
Il·lustració 66: màquina tridimensional de control dimensional

Un autoclau és una màquina que treballa amb temperatura i pressió. Actua com a forn per tal de realitzar un cicle de curat del panell. I, actua com a bomba de buit per tal d'eliminar l'aire dins de l'autoclau i, doncs, sotmetre a pressió el modelat contra el motlle.



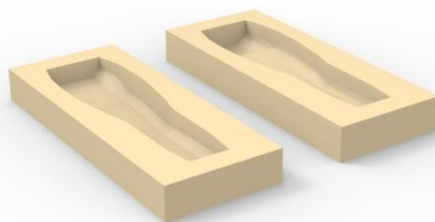
Il·lustració 67: autoclau de grans dimensions

Es mostren els passos a seguir per a la fabricació del xassís.

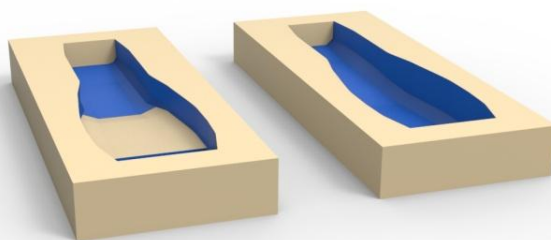


El disseny del xassís s'ha realitzat pensant en que només s'ha de fabricar una sola unitat. Això comporta que el motlle ha de tenir una vida molt curta. Doncs, el material a utilitzar pot ser una espuma d'alta densitat, o bé pasta màster (clay). La segona opció garanteix la rigidesa del motlle i l'estabilitat dimensional en qualsevol pas del procés. El seu mecanitzat, però, és un nivell més lent que un motlle d'espuma.

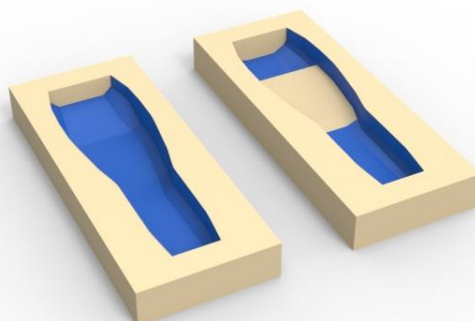
Seguidament, s'ofereix una imatge de la tipologia de motlle que es s'utilitza per modelar les peces.



Il·lustració 68: parts del motlle



Il·lustració 69: zones del motlle pel laminat (1)



Il·lustració 70: zones del motlle pel laminat (2)

càlculs i

validació

**9 càlculs i
validació**

9. CÀLCULS I VALIDACIÓ

Seguidament es pretén donar resposta a les qüestions relacionades amb la fiabilitat del disseny com poden ser: quina rigidesa a torsió assoleix el xassís?, o bé, quins criteris de càlcul s'han seguit?

Un cop s'arriba a l'àrea de càlculs i validació s'ha de tenir un objectiu clar de les necessitats de l'anàlisi i les eines de les que es disposa per a satisfer-les. En aquest cas, la necessitat consisteix en aconseguir una dada de la rigidesa a torsió del xassís expressada en Newtons*metre/graus (Nm°). Doncs, també serà necessari obtenir dades sobre els materials que es volen utilitzar per tal que els càlculs s'apropin el màxim possible a la realitat. Les eines de les que es disposa són: materials i eines per a la fabricació de dues provetes de 200x500x11,8mm. També es disposa de dues màquines electromecàniques, propietat de l'ETSEIAT, capaç de realitzar un assaig a flexió i un altre d'esforços tallants. I, es disposa d'un ordinador portàtil amb un processador de dos nuclis de 2,20GHz, memòria RAM de 4GB i targeta gràfica Nvidia Geforce GT 520MX d'1GB. El software que s'utilitza és ANSYS 14.5 juntament amb el paquet ACP (especialitzat en "composites"). *Veure annexos, punt 6, pàgina 10 i 11 per trobar més informació sobre les màquines d'assaig.*

El procés en l'àrea d'anàlisi és el següent:

- Fabricació i assaig d'una proveta
- Extracció de dades i comparativa amb simulació virtual
- Primeres conclusions
- Disseny del xassís adaptat per a la simulació
- Simulació del xassís
- Conclusions

Com a tot procés de càlcul, els dissenys són iteratius per tant, es re dissenyen segons els resultats obtinguts a les simulacions. En aquesta fase del projecte es pretén realitzar el disseny d'un primer prototip de xassís al qual se li poden assignar zones de millora i aprofundiment de les simulacions per tal de mostrar diverses propostes de millora del mateix.

9.1 Fabricació de provetes

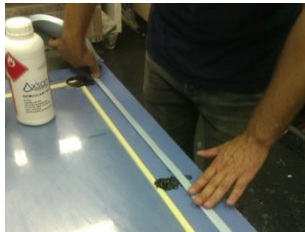
El material que s'utilitza ha estat aconseguit de manera gratuïta mitjançant material sobrant de l'empresa Hofmann Innovation Ibérica, SA.

Per a la fabricació de les provetes és necessari:

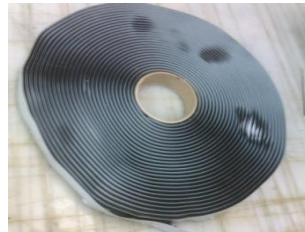
- Fibra de carboni unidireccional. 8 retalls de 200x500mm amb orientacions 0° , 90° , 45° , -45° (2 retalls per cada orientació de la fibra)

- Vidre pla i llis que s'utilitza com a superfície d'acabat exterior
- Desemmotllant
- Goma adhesiva
- Resina i enduridor
- Balança
- Pinzell i rodet
- Drap
- Teixit gravat que permet l'adherència del laminat al nucli
- Capa perforada que extreu excipient de resina
- Teixit absorbent
- Bossa de buit ("vacuum bag")
- Compressor, mànega i bec
- Guants
- Campana extractora (si no s'està en un lloc ventilat)

Es mostra el procés de fabricació de les provetes.



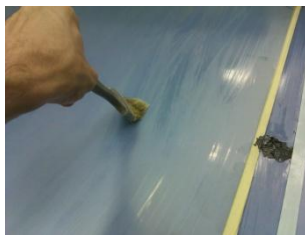
Emmarcar el vidre



Utilitzar goma adhesiva



Aplicar desemmotllant



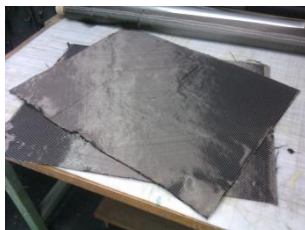
Extreure'n l'excés amb un drap



Marcar el teixit



Tallar



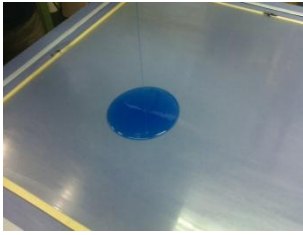
Retalls d'orientació diferent



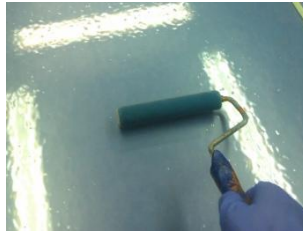
Mesclar resina



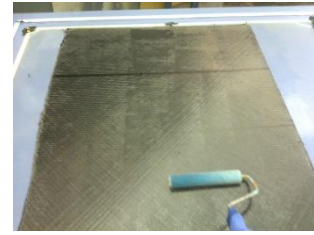
I enduridor



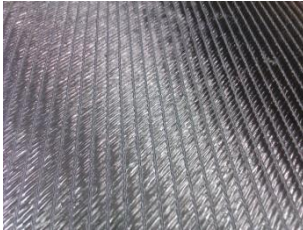
Abocar la mescla



Repartir-la per la superfície



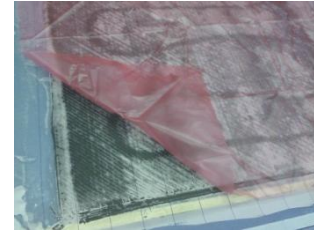
Laminar capa a capa



Obtenció d'un laminat



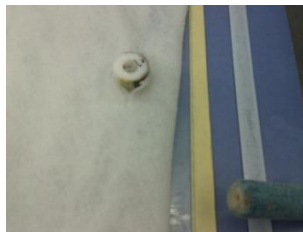
Situar teixit pel gravat



Situar làmina d'excedent



Situar teixit absorbent



Perforar i col·locar bec



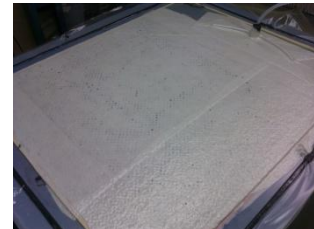
Situar la bossa de buit



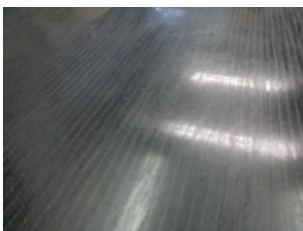
Connectar bec i compressor



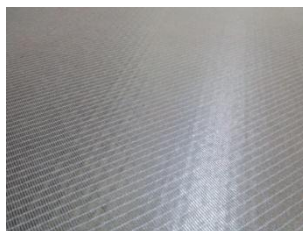
Mitjançant una mànega i sellar



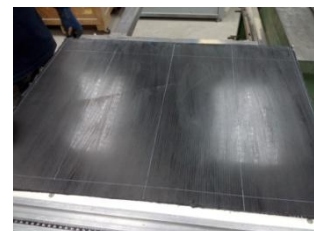
Extracció d'aire



Desemmotllar



Acabat zona vidre i zona gravat



Marcar dimensions provetes



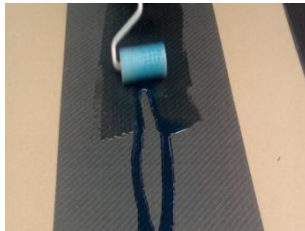
Tallar



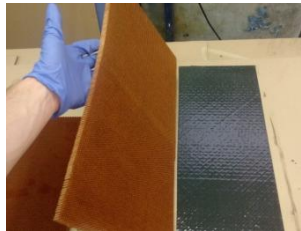
Obtenció de laminats



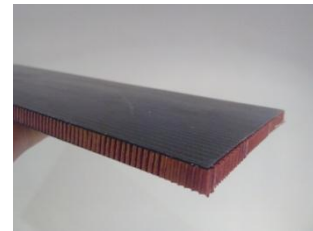
Tallar nucli d'aramida



Aplicar resina al laminat i nucli



Encolar per zona gravada



Obtenció de les provetes

El procés s'ha dut a terme de manera acurada per tal de garantir la homogeneïtat a ambdues mostres. S'expressa a la taula que segueix:

Mostra	Pes (g)	Dimensions (mm)
1	286	190x490x11,8
2	286	192x492x11,8

Taula 12: pes i dimensions de les provetes

Cal detallar la relació de pesos de la resina i l'enduridor. Aquesta és de 100g de resina per 28g d'enduridor. S'ha utilitzat 200g de resina i 48g d'enduridor per a la fabricació dels laminats i 100g de resina i 28 d'enduridor per a la funció d'adhesiu del laminat amb el nucli.

La configuració de les provetes és la següent:

[0°, 90°, +45°, -45°, Honeycomb d'aramida]_s

És a dir, és un panell sandvitx utilitzant un nucli de "honeycomb" d'aramida entre dos laminats simètrics entre ells i formats per 4 capes cada un amb 4 orientacions diferents.

Aquesta configuració forma una proveta que, a priori, ha de ser prou rígida i comportar-se de manera quasi isòtropa. La simetria evita flexió i torsió al conjunt. Angles de $\pm 45^\circ$ aporta resistència a danys però produeix cert vinclament que s'evita utilitzant la configuració [0°, 90°, +45°, -45°] amb un mínim d'una capa a cada orientació oferint al conjunt un comportament quasi isòtrop. A més, laminar capes d'orientació $\pm 45^\circ$ seguides redueix les tensions tallants entre capes.

Veure annexos, punt 5, pàgina 9 per trobar referències a la formació de laminats.

Un cop fabricades les dues provetes es duu a terme un assaig a cada una d'elles.

9.2 Assaig de provetes

Seguint el punt (9.1) anterior, es duen a terme dos assajos. Un és l'assaig a flexió que mostra la rigidesa de la mostra i la fallada de la primera làmina del laminat i, es poden extreure dades útils per a les simulacions. Aquest assaig consta de dos corrns que suporten el panell. Restringeixen el moviment i permeten la rotació. La càrrega s'aplica mitjançant dos corrns. Això, permet no concentrar la càrrega en un sol punt i evitar obtenir un comportament no desitjat. Entre els corrns existeix moment flector constant.

També s'estudia el comportament del laminat de fibra de carboni a tracció per tal de trobar el trencament de la primera làmina, fet que dona una dada de disseny important. A més es troba el mòdul elàstic i, doncs, la inèrcia resultant.

Les provetes, pel fet de tenir el laminat orientat a diverses direccions, es poden considerar transversalment isòtrops, és a dir, són ortotròpiques però, en aquest cas, es pot considerar que els eixos paral·lels al pla del laminat es comporten igual.

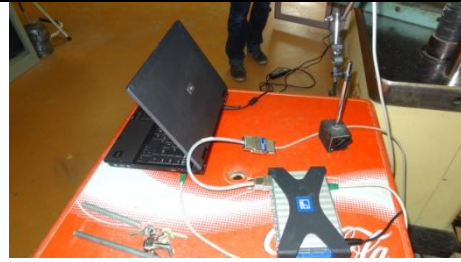
És prou interessant seguir la comparativa que es porta a terme al final del següent punt (9.3) ja que es mostra la comparació entre l'assaig que aquest apartat exposa en quant a procés i dades i, el mateix assaig simulat virtualment mitjançant el software d'anàlisis mecànic ANSYS. Per tant, allò que realment es pot extreure és l'error que existeix entre l'assaig real i la destresa que l'autor del projecte mostra amb la simulació del mateix. A més, es mostren comparacions amb xapa d'acer.

Es mostra el procés d'assaig dels panells a flexió.

S'ha utilitzat: una màquina
electromecànica,



un aparell d'adquisició de dades,
ordinador,



i un palpador.



Es col·loca el panell i es recolza als
corralls ubicats a la distància desitjada
del punt d'aplicació de la càrrega (on hi
ha una barra de secció quadrada)



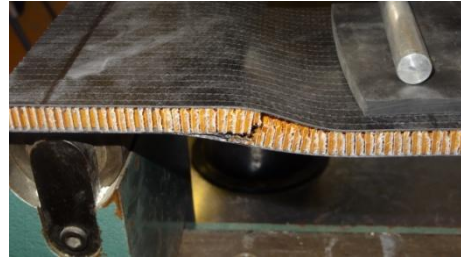
Es situen dues barres transversals i
simètricament distanciades del centre
d'aplicació de la càrrega



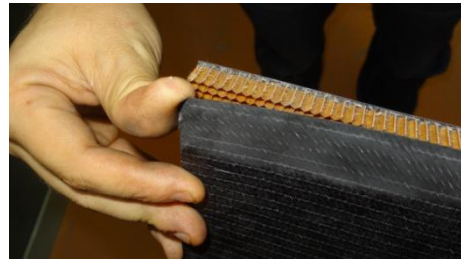
Mitjançant l'ordinador de la màquina (i el
software "Catman"), es controlen els
paràmetres de velocitat de càrrega i
s'observa la càrrega que s'aplica
gradualment. S'han dut a terme 3
assajos a 2, 5 i 10mm/min.



Els panells s'han assajat fins al trencament. Un d'ells ha fallat pel nucli.



L'altre ha fallat per la zona d'adherència entre el nucli i el laminat inferior del panell.



La mostra abans de ser carregada.



La mostra un cop carregada. Abans de la fallada del nucli.



Taula 13: procés d'assaig d'una proveta a flexió

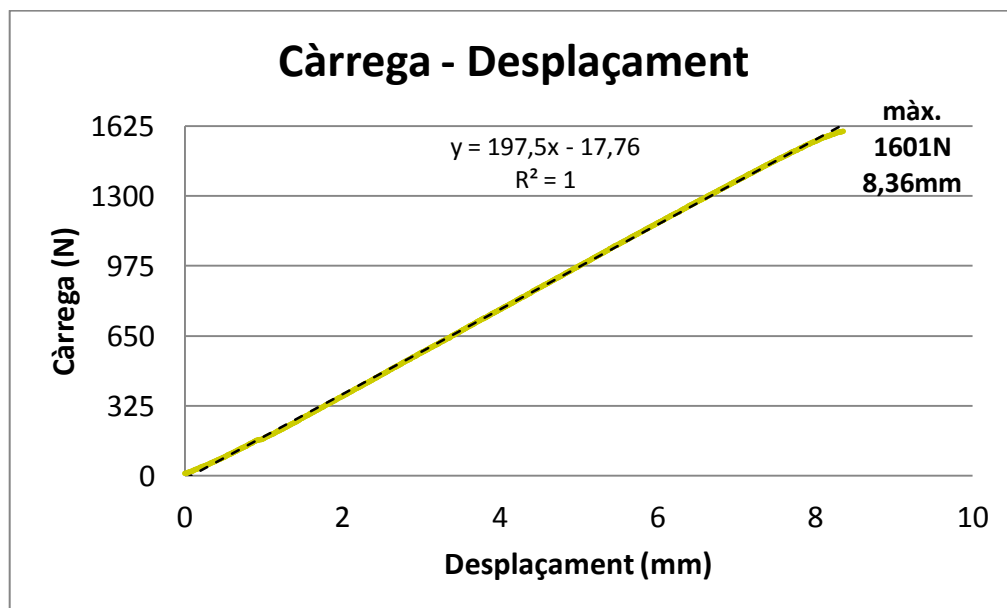
Els panells sandvitx han de ser fabricats sota condicions de mínima garantia d'adhesió del laminat i, d'aquest mateix amb el nucli. En cas contrari, el nucli pot col·lapsar abans del que s'espera i l'assaig pot donar dades de menor credibilitat i, a més, de menor valor quantitatiu en quant a especificacions tècniques.

Tot seguit es mostren les dades que s'han extret dels assajos i els gràfics que permeten observar si el comportament del panell és el que s'espera i, per tant, si les dades poden ser comparades amb una simulació virtual.

Resultats dels assajos a flexió

En primer lloc, es mostren les gràfiques generades mitjançant les dades extretes dels assajos dels panells a flexió. La primera d'elles prové de l'assaig del primer panell on es mostra el comportament a la zona elàstica del material.

L'assaig s'atura als 1601N de càrrega exercida per la màquina ja que el panell encara es conserva en bon estat. El desplaçament als punts d'aplicació de la càrrega és de 8,36mm. Es comprova que el material es comporta elàsticament ja que ha retornat a la forma original i per mitjà de la recta traçada a la gràfica realitzada. A més, el coeficient de determinació (R^2 ; covariància entre producte de les desviacions típiques al quadrat de les variables x i y), que pren valors entre 0 i 1, resulta ser 1 i, ens assegura el model que la recta defineix.



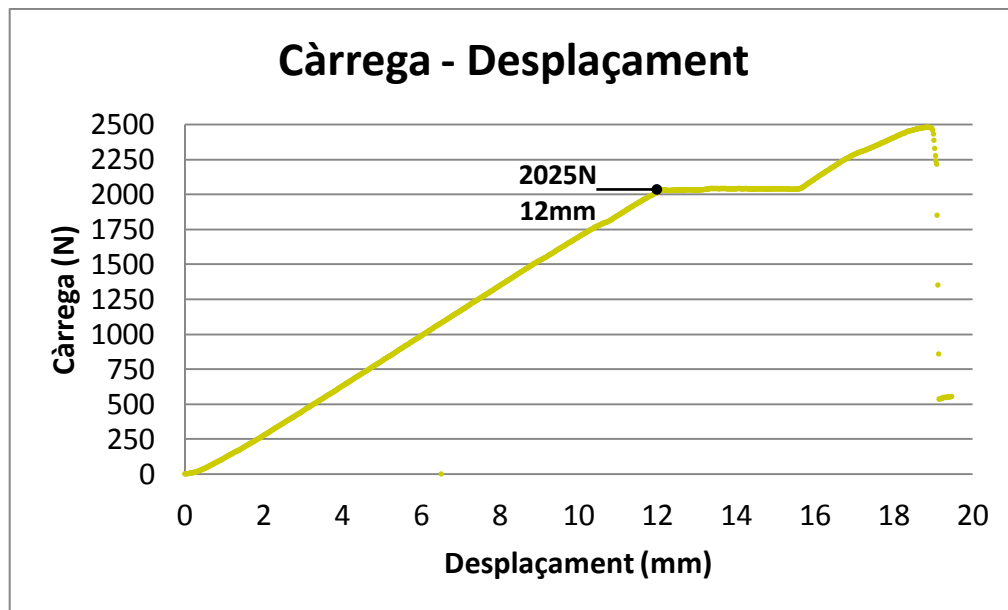
Gràfica 1: càrrega enfront al desplaçament

La segona gràfica que es mostra prové de l'assaig del segon panell. En aquest assaig, s'ha volgut mostrar la fallada del nucli, el qual ja es preveia més feble que el laminat.

Als 2025N de càrrega exercida es noten els primers símptomes de trencament i, la gràfica mostra aquesta singularitat ja que, a partir d'aquest punt la càrrega s'estabilitza perquè el nucli s'està col·lapsant. En aquest punt el desplaçament registrat pel palpador és de 15,7mm. Les cel·les es trenquen provocant la fallada

degut als tallants, tal i com es mostra a les il·lustracions del procés d'assaig que es troben en aquest punt de la memòria. La càrrega augmenta de nou per poc temps, però suficient com per acabar de deformar el panell.

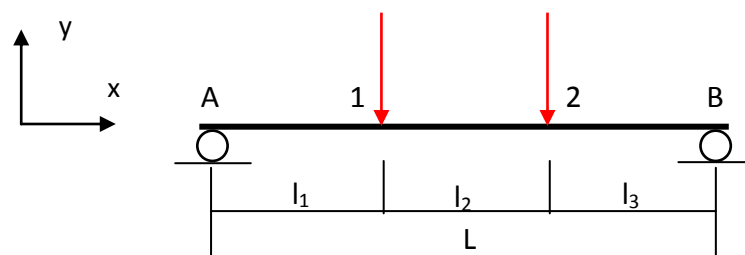
El laminat, tal i com es comprova a l'assaig de tracció, és molt més resistent, no es trenca, i fa prou força com per retornar el panell en un punt força similar a l'inicial.



Gràfica 2: càrrega enfront al desplaçament

DIAGRAMES (càlculs i esquemes)

Dades geomètriques i càrregues:



Pels càlculs següents es prenen els valors experimentals dels assajos en el punt previ a l'estat inicial del trencament del panell i on es perd la linealitat entre la càrrega i el desplaçament degut a la deformació del panell.

Dada	Valor	Unitats
Longitud 1 (l_1)	140	mm
Longitud 2 (l_2)	220	mm

Longitud 3 (l_3)	140	mm
Longitud total (L)	500	mm
Càrrega al punt 1	1012,5	N
Càrrega al punt 2	1012,5	N

Taula 14: dades geomètriques i càrregues de l'assaig

Eix X (longitudinal al panell):

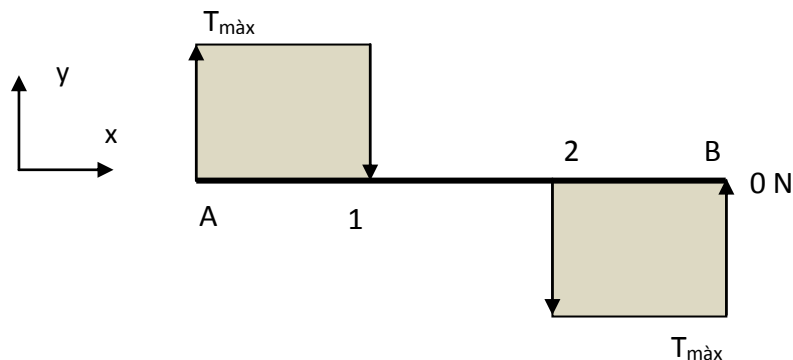
Degut al recolzament simple de l'assaig, en que només es restringeix el moviment vertical, no apareixen reaccions a l'eix X.

Eix Y (perpendicular ala secció longitudinal del panell):

$$\sum F_Y = 0; \quad P = F_{RA} + F_{RB}; \quad F_1 + F_2 = F_{RA} + F_{RB}; \quad F_{RB} = F_1 + F_2 - F_{RA} \quad [1]$$

On P és la càrrega que exerceix la màquina, $F_{RA/B}$ és la reacció al suport, i $F_{1/2}$ és la càrrega exercida per la màquina al punt d'aplicació que, en aquest cas, és la meitat que la càrrega aplicada per la màquina.

$$F_1 = F_2 = \frac{P}{2} \quad [2]$$



Eix Z (perpendicular al pla XY):

$$\sum M_{ZB} = 0; \quad F_{RA} \cdot L - F_1 \cdot (L - l_1) - F_2 \cdot (L - l_1 - l_2) = 0$$

Re ordenant,

$$F_{RA} = (F_1 + F_2) \cdot \left(1 - \frac{l_1}{L}\right) - F_2 \cdot \frac{l_2}{L} \quad [3]$$

Prenent l'expressió [3] i substituint-ne les dades es troba la reacció al recolzament A. Seguidament, es pren l'expressió [1] i es troba la reacció al recolzament B.

$$\begin{aligned}
 [3] \quad F_{RA} &= (F_1 + F_2) \cdot \left(1 - \frac{l_1}{L}\right) - F_2 \cdot \frac{l_2}{L} \\
 F_{RA} &= (2 \cdot 1012,5) \cdot \left(1 - \frac{140}{500}\right) - 1012,5 \cdot \frac{220}{500} \\
 F_{RA} &= 1012,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

I,

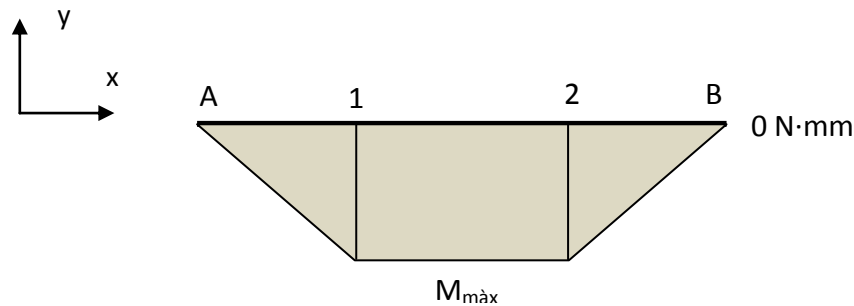
$$[1] \quad F_{RB} = F_1 + F_2 - F_{RA} = 2 \cdot 1012,5 - 1012,5$$

$$\mathbf{F_{RB} = 1012,5N}$$

Se sap que, als punts de recolzament A i B el moment que apareix és nul. I, en canvi, entre els punts d'aplicació de la càrrega, 1 i 2, el moment existent és màxim i constant. El valor d'aquest moment es pot expressar de diferents maneres com segueix:

$$M_{m\grave{a}x} = M_1 = F_{RA} \cdot l_1 = \frac{P \cdot (L - l_2 - l_3)}{2} = M_2 = \frac{P \cdot (L - l_3)}{2} - \frac{P \cdot (L - l_1 - l_3)}{2}$$

$$\mathbf{M_{m\grave{a}x} = 1012,5 \cdot 140mm = 141750Nmm}$$



Seguidament, es troben les tensions generades.

Cal assumir una hipòtesi relacionada amb la inèrcia d'un panell sandvitx. El nucli, no flecta en proporció als tallants que s'hi generen. És doncs, mitjançant aquesta hipòtesi que la inèrcia que es calcula habitualment per a una secció rectangular,

$$I_{f_z} = \frac{1}{12}bh^3 [mm^4]$$

no s'utilitza i, el laminat és aquell que esdevé l'únic component que afecta a la inèrcia.

Generalment, s'expressa de la següent manera,

$$I_{f_z} = \sum A_i \cdot d_i^2$$

El sumatori del producte entre les seccions que intervenen en la inèrcia del conjunt per la distància fins a la fibra neutra. Doncs, en el cas del panell que s'ha assajat:

$$I_{f_z} = \sum_{i=1} A_i \cdot d_i^2 = (b \cdot e_{lam}) \cdot \left[\left(\frac{e_{lam}}{2} \right) + \left(\frac{e_{HC}}{2} \right) \right]^2$$

On e_{lam} és l'espessor d'un dels laminats; e_{HC} és l'espessor del honeycomb; b és la longitud del costat del panell al llarg de l'eix 'x'.

$$I_{f_z} = (200 \cdot 0,9) \cdot \left[\left(\left(\frac{0,9}{2} \right) + \left(\frac{10}{2} \right) \right)^2 \right] = 5346,45 \text{ mm}^4$$

$$\sigma = \left| -\frac{M_{f_z} \cdot y}{I_{f_z}} \right| = \frac{M_{f_z} \cdot \left(e_{lam} + \frac{e_{HC}}{2} \right)}{(b \cdot e_{lam}) \cdot \left[\left(\left(\frac{e_{lam}}{2} \right) + \left(\frac{e_{HC}}{2} \right) \right)^2 \right]} = \frac{141750 \cdot 5,8}{2,08 \cdot 10^9} = \mathbf{153,8 \text{ MPa}}$$

Els tallants màxims es troben entre un recolzament i el punt d'aplicació de càrrega més proper.

$$\tau_y = \frac{F_1}{A} = \frac{F_1}{b \cdot e_T} = \frac{1012,5}{200 \cdot 11,8} = \mathbf{0,43 \text{ MPa}}$$

On b és el costat més curt del panell i e_T és l'espessor total del panell.

Es mostra el procés d'assaig a tracció del laminat.

S'ha utilitzat: una màquina
electromecànica, un aparell d'adquisició
de dades, ordinador,



i un extensòmetre.



S'han obtingut 4 mostres del laminat.



Es posa una d'elles entre les mordaces de la màquina. I, després es tanquen i es situa l'extensòmetre.



Mitjançant un ordinador i el software "TestWorks4" es controla la velocitat d'assaig (2mm/min).



La mostra no arriba a entrar del tot a la zona plàstica. I, doncs, no s'arriba a trencament. La màquina no admet més càrrega.



Taula 15: procés d'assaig a tracció del laminat

Dimensions dels laminats.

Mostra	Espessor [mm]	Amplada [mm]
M1	0,92	2,45
	0,89	2,43
	0,90	2,36
M2	0,92	2,47
	0,88	2,60
	0,92	2,46
M3	0,92	2,53
	0,84	2,51
	0,92	2,35

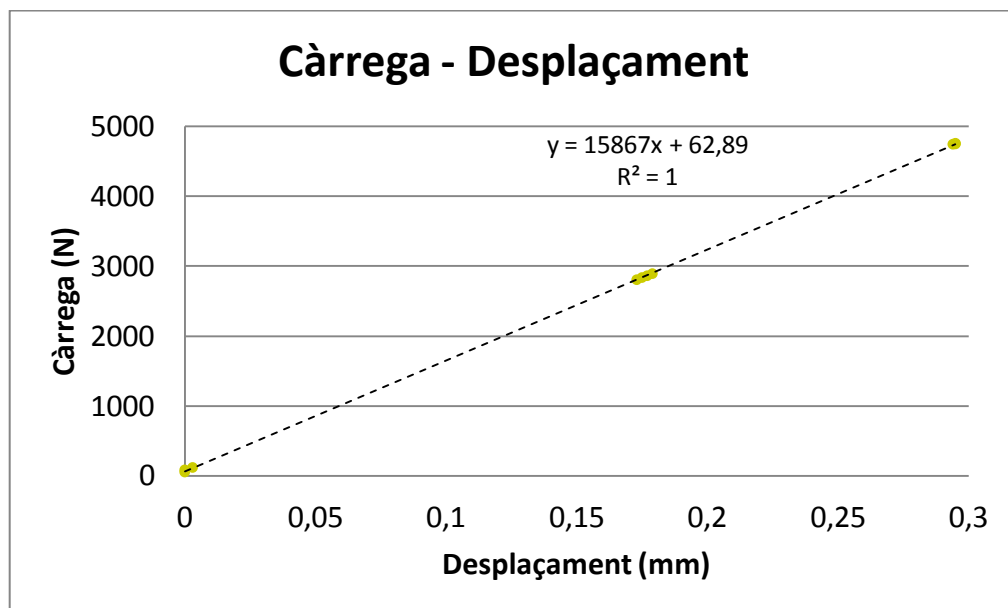
M4	0,86	2,45
	0,90	2,36
	0,92	2,43
Mitjana	0,90	2,45
Desviació	2,7%	7,4%

Taula 16: dimensions de les mostres dels laminats

Els següents gràfics permeten obtenir el valor de mòdul elàstic (E) i, una aproximació al límit elàstic del mateix. Aquesta aproximació és deguda a que la màquina utilitzada no exerceix prou càrrega com per trobar el punt de fluència, en el que el material deixa de comportar-se elàsticament.

En primer lloc, un cop extretes les dades resultants de l'assaig, es comprova que el material es comporta elàsticament durant un primer tram per mitjà de la recta traçada. A més, el coeficient de determinació (R^2) ens assegura el model que la recta defineix.

El que s'observa és que prop dels 4800N, la deformació no arriba als 0,3mm. L'extensòmetre s'ha retirat per evitar la seva fallada i trencament. La proveta ha estat carregada fins als 6800N (límit de la màquina).



Gràfica 3: càrrega enfront a l'allargament

La deformació i les tensions són dades que la instrumentació ofereix. Tot i així, s'ha comprovat mitjançant el formulari següent.

Deformació:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L_f - L_o}{L_o}$$

On L_f és la longitud final de la proveta (mm); L_o és la longitud inicial de la proveta (mm).

Tensions generades:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

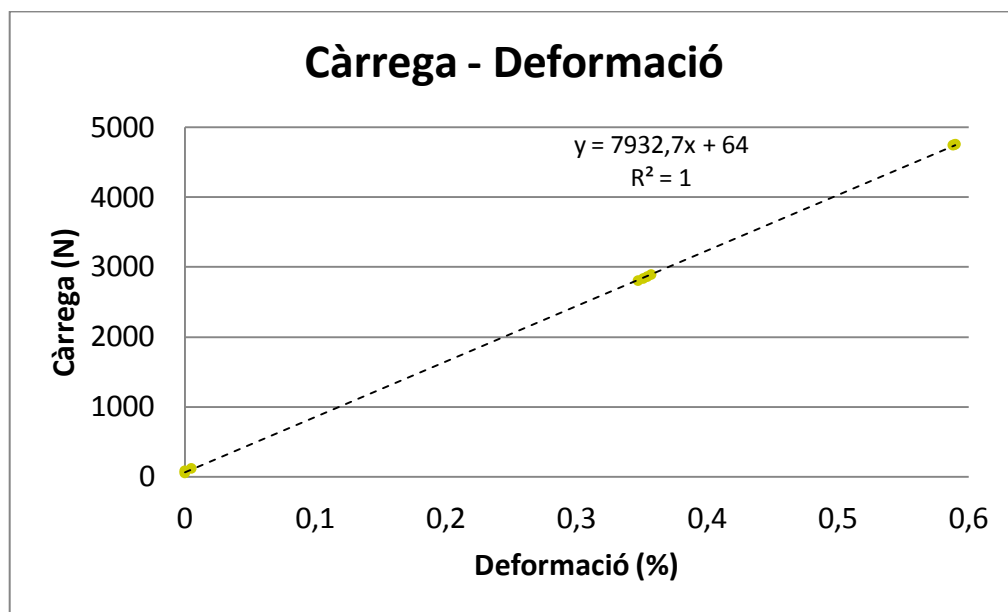
On σ és la tensió (MPa); F és la càrrega (N); A és la superfície (mm^2).

Llei de Hooke:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

On E és el mòdul elàstic (MPa).

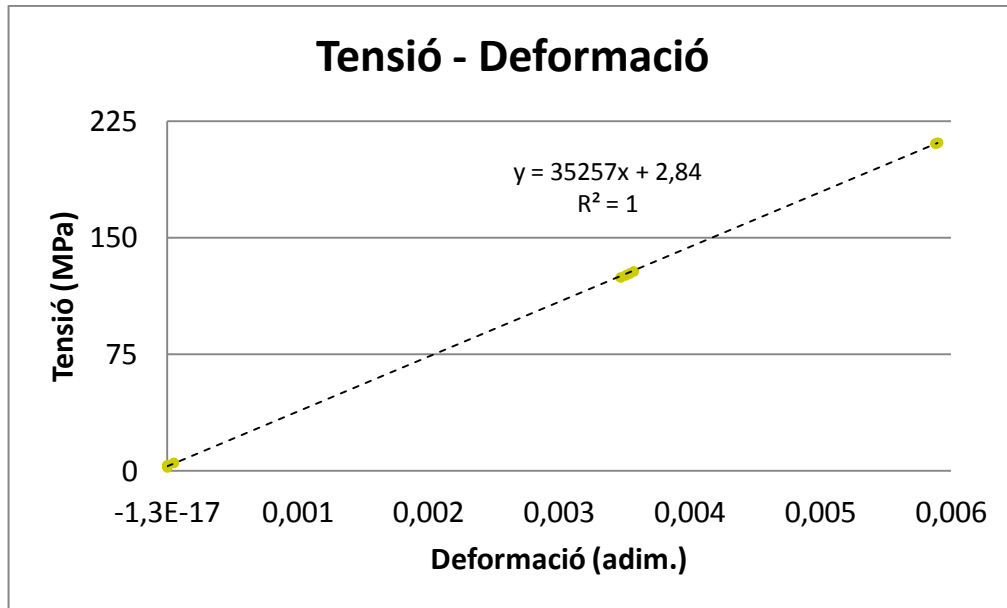
Doncs, s'observa que no s'arriba a una deformació del 0,6%.



Gràfica 4: càrrega enfront a la deformació

Finalment, s'obté la gràfica tensió enfront a la deformació que acostuma a acompanyar molts dels fulls de característiques dels materials.

La màxima tensió registrada ha estat de 211MPa i, el mòdul elàstic obtingut mitjançant la lectura de la pendent de la recta traçada al gràfic tensió enfront a deformació i comprovat mitjançant la llei de Hooke és de 35,2GPa.



Gràfica 5: tensió enfront a la deformació

9.3 Simulacions dels assajos

Seguint el fil del punt 9 de la memòria (Càlculs i validació), s'ha simulat la proveta (panell) prenent les condicions amb les quals s'ha realitzat l'assaig:

- Geometria de la proveta
- Material de la proveta
- Punt d'aplicació de la càrrega
- Suport simple (restricció del moviment vertical, únicament)

S'aplica una càrrega de 500N. El resultat, en forma de desplaçament, s'utilitza per ser comparat amb l'assaig real. D'aquesta manera es troba l'error generat per la simulació degut a les aproximacions i hipòtesis del software utilitzat.

A més, la simulació primera ha estat modificada en dues versions més canviant el material, en una d'elles, i el material i l'espessor del panell en l'altre. El material d'aquestes dues versions és l'acer i l'espessor es troba iterant fins a fer-lo coincidir amb el valor de desplaçament que assoleix el panell de material compost. Aquestes versions s'han dut a terme per tal de ser comparades i destacar les propietats dels panells sandvitx descrites als anteriors punts.

SIMULACIÓ 1 (panell sandvitx a flexió)

B: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 11/10/2014 11:09

2,4021 Max
 2,235
 2,0678
 1,9007
 1,7336
 1,5665
 1,3994
 1,2323
 1,0652
 0,89807
 0,73096
 0,56385
 0,39674
 0,22963
 0,062521 Min



Il·lustració 71: simulació panell sandvitx

SIMULACIÓ 2 (panell d'acer; es manté l'espessor)

Espessor: 11,8mm

Desplaçament màxim: 0,037mm

A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 11/10/2014 11:12

0,03682 Max
 0,03419
 0,03156
 0,02893
 0,0263
 0,02367
 0,02104
 0,01841
 0,01578
 0,01315
 0,01052
 0,0078899
 0,0052599
 0,00263
 0 Min



Il·lustració 72: simulació panell d'acer (mantenint espessor)

SIMULACIÓ 3 (panel d'acer; espessor reduït; es manté el desplaçament)

Espessor final: 2,735mm

A: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 11/10/2014 12:27

2,4047 Max
 2,2339
 2,0632
 1,8924
 1,7216
 1,5509
 1,3801
 1,2093
 1,0386
 0,86782
 0,69706
 0,52629
 0,35553
 0,18477
 0,014003 Min



Il·lustració 73: simulació panel d'acer (espessor reduït)

Seguidament, es mostren taules comparatives de les dades extretes.

Assaig REAL vs SIMULACIÓ

COMPARATIVA ASSAIG REAL - SIMULACIÓ VIRTUAL	
Materials	Fibra de carboni - resina d'epòxid - honeycomb d'aramida
Composició	[0°, 90°, +45°, -45°, (Honeycomb d'aramida), -45°, +45°, 90°, 0°]
Espessors	0,9 - 10 - 0,9 [mm] (fibra - nucli - fibra)
Densitat	0,26 g/cm ³

Taula 17: definició de la proveta

Taules segona comparativa i resultats

	Espessor [mm]	Àrea [mm ²]	Volum [mm ³]	Pes [g]	Càrrega aplicada [N]	Desplaçament [mm]
Real	11,8	9,3E+04	1,1E+06	286	500	3,0
Simulació						2,4

Taula 18: dades i resultats d'un assaig i una simulació d'una proveta

Relacions entre assaig i simulació		
Ítem	Desplaçament [%]	Deformació Z [%]
Real	100	25
Simulació	80	20

Taula 19: relacions entre assaig i simulació

Es puntualitza que la deformació en Z es calcula en relació a l'espessor del propi ítem i no és una comparació entre ítems.

La realitat mostra pitjors resultats que la simulació. Tot i que el model és el més proper a la realitat, les dades dels materials no es tenen per complet i, aquest fet produeix part de l'error existent. Cal concloure que les simulacions donen orientacions, comparacions, ordres de magnitud. De tal manera, els tests i prototips a realitzar posteriorment es poden veure reduïts, reduint, també, el cost que suposa. Per tot això, es duu a terme l'anàlisi comparatiu següent.

SIMULACIÓ COMPARATIVA

COMPARATIVA SIMULACIÓ PANELL SANDVITX - PANELL ACER		
Materials	Fibra de carboni - resina d'epòxid - honeycomb d'aramida	Panell sandvitx
Composició	[0°, 90°, +45°, -45°, (Honeycomb d'aramida)] _s	
Espessors	0,9-10-0,9 [mm] (Fibra-nucli-fibra)	
Material	Acer	Xapa d'acer AISI 1010
Composició	Homogènia	
Espessors	11,8 [mm]	

Taula 20: definició de les provetes comparatives

Densitats	Valor	Unitats
Panell Composite	0,26	g/cm ³
Acer	7,85	

Taula 21: densitats dels materials

Ítem	Espessor [mm]	Àrea [mm ²]	Volum [mm ³]
Panell	11,8	9,3E+04	1,1E+06
Xapa acer	11,8	9,3E+04	1,1E+06
Xapa acer Símil	2,74	9,3E+04	2,55E+05
Ítem	Pes [g]	Càrrega aplicada [N]	Desplaçament [mm]
Panell	286	500	2,4
Xapa acer	8624	500	0,03
Xapa acer Símil	1999	500	2,4

Taula 22: dades i resultats de les simulacions

Taula de percentatges

Relacions respecte la "Xapa d'acer"			
Ítem	Espessor [%]	Pes [%]	Deformació Z [%]
Panell	100	14	20
Xapa acer símil	23	100	88

Taula 23: relacions entre simulacions

Es puntualitza que la deformació en Z es calcula en relació a l'espessor del propi ítem i no és una comparació entre ítems.

D'aquesta última taula se n'extreu que el panell té un pes extremadament més petit que les xapes d'acer tenint una deformació acceptable. Una xapa d'acer del mateix espessor que el panell té un pes inacceptable, tot i que la seva deformació és mínima. La xapa d'acer símil, en que imposen que es mantingui el desplaçament, necessita un espessor molt més reduït que les mostres anteriors, el pes, però, és força més elevat que el del panell de material compost així com la deformació.

Doncs, es conclou sabent que canviant l'espessor del panell de material compost no es varia el pes significativament mentre que les seves propietats produeixen canvis importants a la deformació del mateix. Aquest és el motiu pel qual es comprova que els panells sandvitx són adequats per a l'aplicació que es dona en aquest disseny.

A més, s'ha comprovat en taules anteriors que es pot simular en condicions semblants a les reals obtenint resultats pròxims a la realitat, del mateix ordre de magnitud i, se n'ha extret l'error màxim que es pot generar. D'aquesta manera, seguidament es proposa una configuració de laminats pel xassís que varien en funció de la zona d'aquest degut a les càrregues que ha de suportar.

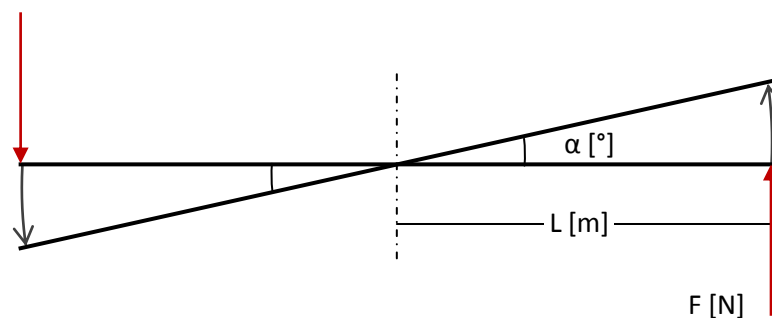
MILLORES

- i. En cas de disposar absolutament de totes les dades del fabricant de la matèria primera, aquestes es poden introduir al software per tal d'utilitzar-les i fer de la simulació una situació encara més propera a la realitat.
- ii. Realitzar una proveta amb un espessor de nucli i laminat diferent i seguir el mateix procés d'assaig i simulació per trobar si existeix la mateixa correlació entre assaig i simulació en ambdós casos.

9.4 Simulació del xassís

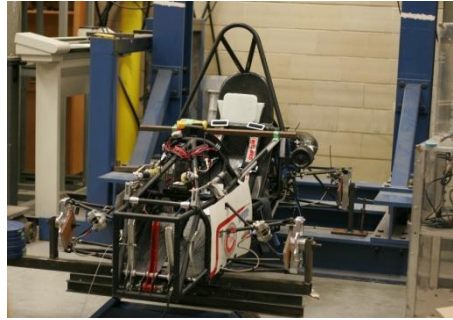
Al punt 6 del projecte (Antecedent) es mostren les taules 1 i 2 a les pàgines 13 i 14, respectivament. Hi apareixen les càrregues que suporta un xassís. En la primera taula s'indiquen el grup de components que pel seu propi pes són càrregues. A la segona taula s'indiquen totes les càrregues d'origen dinàmic i aerodinàmic. Tenen lloc als punts d'unió dels components interns del xassís en forma d'acceleracions i, als punts de suspensió. Aquests últims són els de major importància ja que la simulació del xassís es duu a terme aplicant càrregues en aquest punts per tal d'obtenir un valor de rigidesa a torsió. Característica que defineix un xassís mecànicament.

La rigidesa a torsió dona un valor en unitats $[N \cdot m/^{\circ}]$ que representa el moment de torsió necessari per tal que el punt d'aplicació del moment a l'estructura roti un grau.

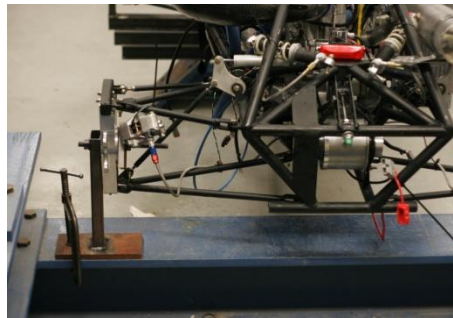


Il·lustració 74: esquema del càlcul de la rigidesa a torsió proposat

Així doncs, els centres de les rodes d'un eix és on s'apliquen les forces mentre que l'eix restant queda totalment restringit. Aquesta simulació, doncs, s'aproxima als assajos que s'acostumen a fer amb pesos a les instal·lacions d'assaig.



Il·lustració 75: assaig de rigidesa a torsió (1)



Il·lustració 76: assaig de rigidesa a torsió (2) eix restringit



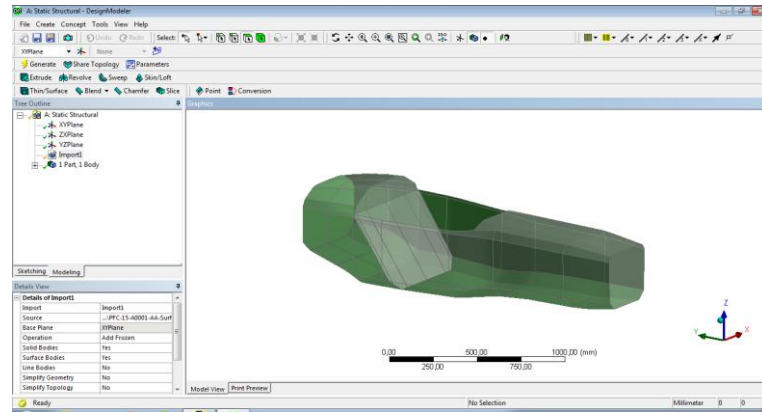
Il·lustració 77: assaig de rigidesa a torsió (3)

Amb l'ajuda del software ANSYS 14.5 s'ha simulat el xassís a torsió. Les dimensions mínimes de la batalla d'un vehicle tipus Formula Student no ha de superar els 1525mm. Doncs, s'utilitza aquesta dada com a batalla del vehicle simulat. I, la via ha de ser més gran que un 75% de la batalla. Es fixa en 1200mm complint normativa.

A continuació es descriu el procés seguit per a simular el xassís.

IMPORTACIÓ DE LA GEOMETRIA

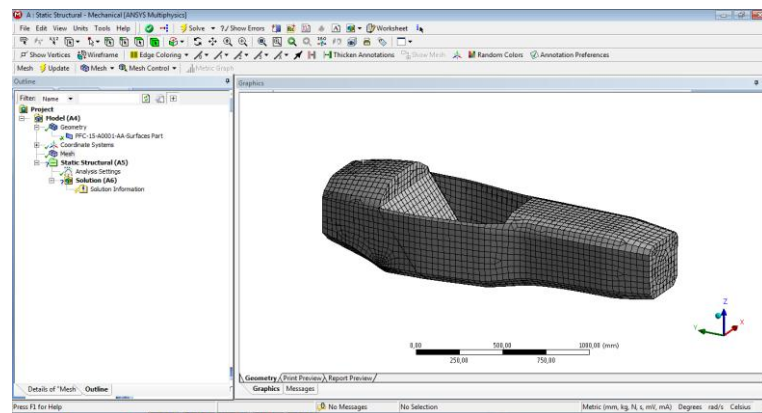
El disseny realitzat amb Catia V5R17 s'ha exportat en format .step. I, importat al software Ansys 14.5.



II·lustració 78: importació de geometria. Ansys.

MALLA

La malla creada pel programa és força homogènia. El nivell de precisió per la generació de la malla es troba al valor per defecte del programa, és 0. Aquest valor pren valors entre -100 i 100 unitats. Com més gran sigui el valor, una malla més ben definida es genera i els resultats poden ser més fiables. De tota manera, aquest fet produeix un alentiment del càlcul, sobre tot amb computadores de baix rendiment. És per aquest motiu que el valor triat és el que per defecte introdueix el software.



II·lustració 79: malla generada. Ansys.

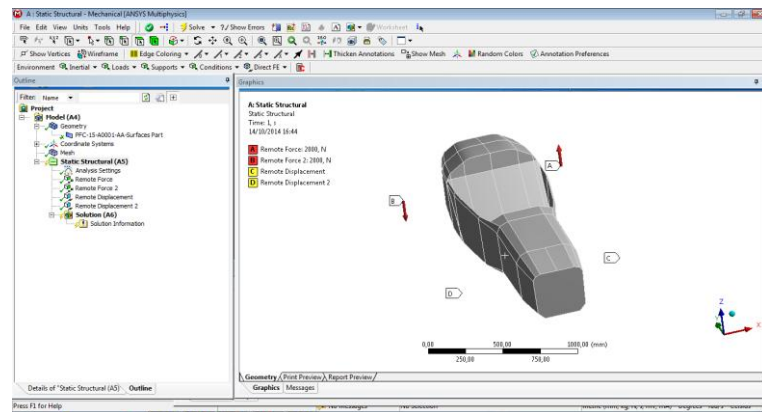
CÀRREGUES I RESTRICCIONS

Es carreguen els dos punt de l'eix posterior amb 2000N en direcció Z (vertical) cada un però amb sentit oposat, creant un moment de torsió respecte el centre de simetria (longitudinal) del vehicle.

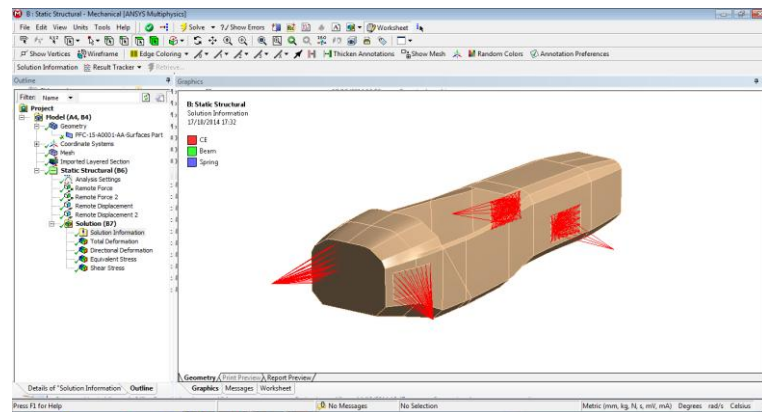
Es defineixen unes zones destinades als reforços i unions dels braços de suspensió com a àrea del xassís on es transmet la càrrega, tal i com ho poden fer els braços de suspensió.

De la mateixa manera es configura l'eix davanter, però amb la diferència que no s'hi aplica cap càrrega sinó la restricció de desplaçament i rotació a la zona definida com a unions de suspensió.

Les zones definides com a unions són extremadament rígides a un xassís monocasc ja que inclouen plaques metàl·liques d'elevat espessor i laminades en el xassís, de manera que es redueix el risc de ser un punt crític. En el cas del projecte, aquest fet, produeix una simulació que donaria un valor de desplaçament superior al real. Doncs, vist des d'aquest punt de vista, es pot estar sobre dimensionant el xassís, o bé, obtenint valors menys desitjables.



II·lustració 80: introducció de càrregues i restriccions (1)



II·lustració 81: introducció de càrregues i restriccions (2)

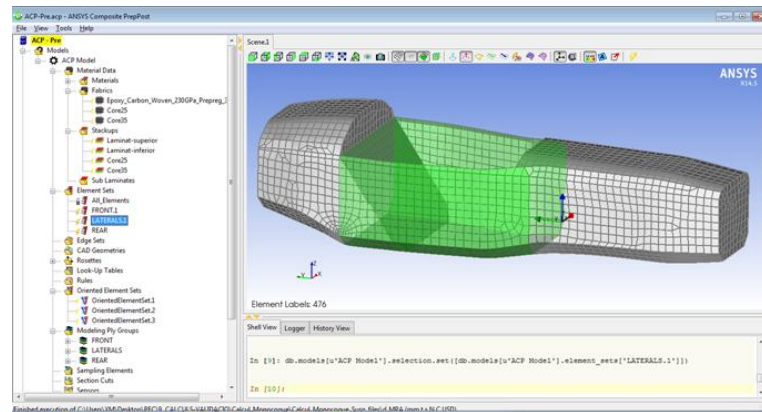
DEFINICIÓ DEL PANELL SANDVITX

En cas de simular materials compostos, cal activar el mòdul ACP especial per a definir laminats i, en aquest cas, panells sandvitx.

Cal introduir els materials que es volen utilitzar, definir teixits, definir regions de diferent tipus de laminat o panell i definició de laminats i panells.

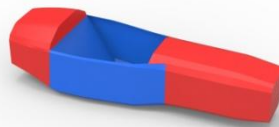
És en aquest punt on es pot iniciar un procés de simulació llarg i iteratiu. És per aquest motiu que es planteja un objectiu de mínims. Aquest és el mínim valor de rigidesa a torsió, tal i com s'explica a altres punts de la memòria. El valor definit és de 2000Nm/°.

Doncs, es creen diferents regions per aplicar diferents espessor de nucli de honeycomb per tal d'assolir l'objectiu.



II-lustració 82: definició de regions

A la primera configuració es valora el fet que la part central del xassís acostuma a sortir mal parada ja que la secció tancada passa a ser oberta per tal que sigui possible situar-hi un pilot. Per tant, com a primer configuració, la zona central rep un gruix de nucli més elevat.

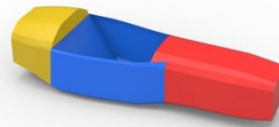


II-lustració 83: configuració de panells sandvitx #1

	Fibra de carboni UD 200g/m ² i honeycomb d'alumini Laminat superior i inferior de 0,8mm. Nucli de 25mm. Configuració [0°, 45°, -45°, 90°, HoneycomAl] _s
	Fibra de carboni UD 200g/m ² i honeycomb d'alumini Laminat superior i inferior de 0,8mm. Nucli de 35mm. Configuració [0°, 45°, -45°, 90°, HoneycomAl] _s

Taula 24: panells a la configuració #1

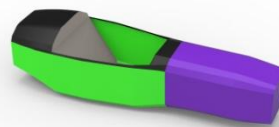
La part posterior rep grans esforços en el xassís plantejat ja que la tracció és posterior i, tant el motor com el diferencial, entre d'altres components hi estan units. Es vol reduir el desplaçament, i, a més, reduir tensions. La segona configuració és la següent:



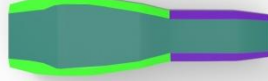
Il·lustració 84: configuració de panells sandvitx #2

	Fibra de carboni UD 200g/m ² i honeycomb d'alumini Laminat superior i inferior de 0,8mm. Nucli de 25mm. Configuració [0°, 45°, -45°, 90°, HoneycomAl] _s
	Fibra de carboni UD 200g/m ² i honeycomb d'alumini Laminat superior i inferior de 0,8mm. Nucli de 35mm. Configuració [0°, 45°, -45°, 90°, HoneycomAl] _s
	Fibra de carboni UD 200g/m ² i honeycomb d'alumini Laminat superior i inferior de 0,8mm. Nucli de 30mm. Configuració [0°, 45°, -45°, 90°, HoneycomAl] _s

Taula 25: panells a la configuració #2



Il·lustració 85: configuració de panells sandvitx #3 (1)



Il·lustració 86: configuració de panells sandvitx #3 (2)

	Fibra de carboni UD 200g/m ² i honeycomb d'alumini Laminat superior i inferior de 1,2. Nucli de 35mm. Configuració [0°, 45°, 45°, -45°, -45°, 90°, HoneycomAl] _s
	Fibra de carboni UD 200g/m ² i honeycomb d'alumini Laminat superior i inferior de 1,2. Nucli de 20mm. Configuració [0°, 45°, 45°, -45°, -45°, 90°, HoneycomAl] _s
	Fibra de carboni UD 200g/m ² i honeycomb d'alumini Laminat superior i inferior de 0,8mm. Nucli de 15mm. Configuració [0°, 45°, -45°, 90°, HoneycomAl] _s
	Fibra de carboni UD 200g/m ² i honeycomb d'alumini Laminat superior i inferior de 0,8mm. Nucli de 10mm. Configuració [0°, 45°, -45°, 90°, HoneycomAl] _s
	Fibra de carboni UD 200g/m ² i honeycomb d'alumini Laminat superior i inferior de 1,2. Nucli de 5mm. Configuració [0°, 45°, 45°, -45°, -45°, 90°, HoneycomAl] _s

Taula 26: panells a la configuració #3

Veure annexos, punt 7, pàgines 12 a 17 per trobar informació addicional sobre el procés de simulació.

Seguidament, es mostren els resultats de la simulació a torsió del xassís. Els resultats que es mostren per mitjà de les il·lustracions 72-75 són els de la configuració #3, la qual ha estat l'escollida per obtenir un pes de 15,4 kg i una rigidesa a torsió de 4027Nm/°.

Simulacions segons la configuració de panells del monocasc					
Configuració	Pes [kg]	Rigidesa a torsió [Nm/°]	Desplaçament màxim [mm]	* σ_{VM} [MPa]	τ [MPa]
#1	18,2	4520	2,78	76	21
#2	18,6	4637	2,71	77	21
#3	15,4	4027	3,71	84	23

Taula 27: resultats (simulacions segons configuració del xassís)

σ_{VM} : tensions segons Von Mises (criteri de fallada d'un material)

τ : esforços tallants

* Existeixen concentradors de tensions en zones on hi ha canvis bruscos de secció. Aquest fet és lògic. Però, s'ha simulat el xassís sense afegir cap arrodoniment. La generació de la malla és més ràpida i el resultat és simple. Tot i això, les tensions màximes tampoc són extremes.

A part del pes del monocasc, s'ha d'incloure tot el pes del "main roll hoop" i "main hoop braces", és a dir, les barres anti bolcada i els seus suports, i les unions dels components (no contemplades al projecte).



Il·lustració 87: membres tubulars del xassís

Els membres tubulars s'han dissenyat i s'ha trobat el seu pes el qual és de 4,6kg. Doncs, **el pes del xassís dissenyat és de 20kg.**

El càlcul proposat per definir la rigidesa a torsió (RT) del xassís es troba a continuació i fa referència a l'esquema que s'observa a la il·lustració 54.

$$RT = \frac{F \cdot d}{\alpha}$$

On α és l'angle que forma el punt de màxim desplaçament en l'eix "z" (vertical) amb l'horitzontal; F és la força aplicada a la distància d de l'origen de coordenades.

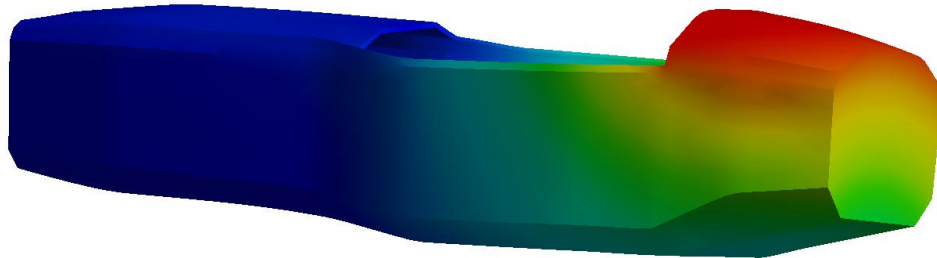
$$RT = \frac{F \cdot d}{\arctg\left(\frac{z}{d}\right)}$$

Veure annexos, punt 8, pàgines 18 a 20 per trobar informació addicional sobre els resultats #1 i #2.

Es mostren les imatges dels resultats de la configuració tercera.

B: Static Structural
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 22/10/2014 16:18

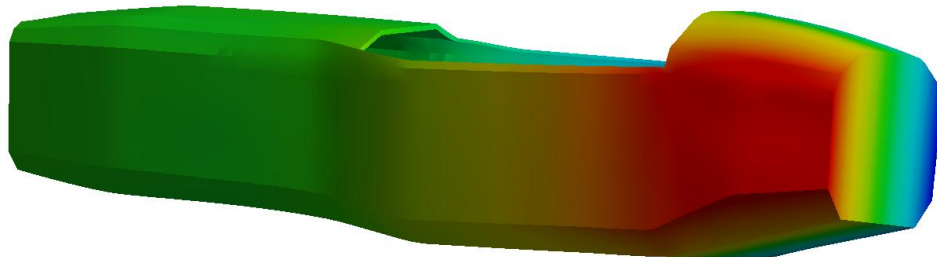
9.3870 Max
 8.7174
 8.047
 7.3765
 6.7061
 6.0357
 5.3652
 4.6948
 4.0244
 3.3539
 2.6835
 2.0131
 1.3426
 0.67219
 0.0017542 Min



II·lustració 88: desplaçament total del xassís #3

B: Static Structural
 Directional Deformation
 Type: Directional Deformation(Z Axis)
 Unit: mm
 Global Coordinate System
 Time: 1
 22/10/2014 16:20

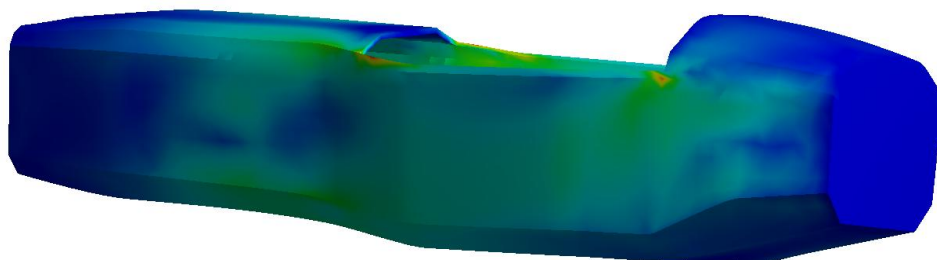
3.1270 Max
 2.6831
 2.2383
 1.7935
 1.3487
 0.90397
 0.4592
 0.014423
 -0.43035
 -0.87512
 -1.3199
 -1.7647
 -2.2094
 -2.6542
 -3.099 Min



II·lustració 89: desplaçament en l'eix "z" (vertical) del xassís #3

B: Static Structural
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom - Layer 0
 Unit: MPa
 Time: 1
 22/10/2014 16:20

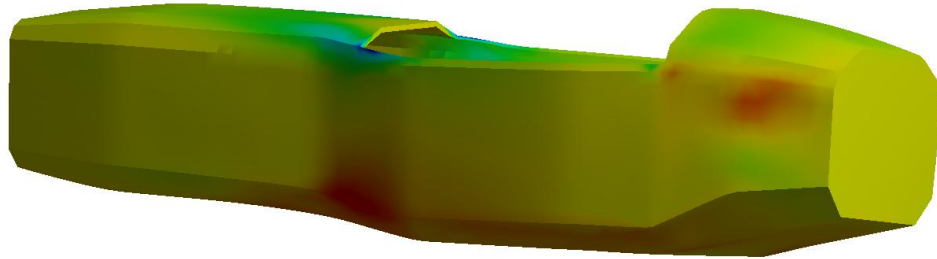
84.276 Max
 78.257
 72.230
 66.213
 60.201
 54.182
 48.163
 42.144
 36.125
 30.105
 24.087
 18.068
 12.05
 6.0306
 0.011772 Min



II·lustració 90: tensió equivalent segons Von Mises del xassís #3

B: Static Structural
Shear Stress
Type: Shear Stress (XY Plane) - Top/Bottom - Layer 0
Unit: MPa
Global Coordinate System
Time: 1
22/10/2014 16:20

9.0702 Max
6.7882
4.5063
2.2243
-0.057605
-2.3396
-4.6215
-6.9035
-9.1054
-11.467
-13.749
-16.031
-18.313
-20.595
-22.877 Min



II·lustració 91: tensió tallant del xassís #3

9.5 Unions dels components

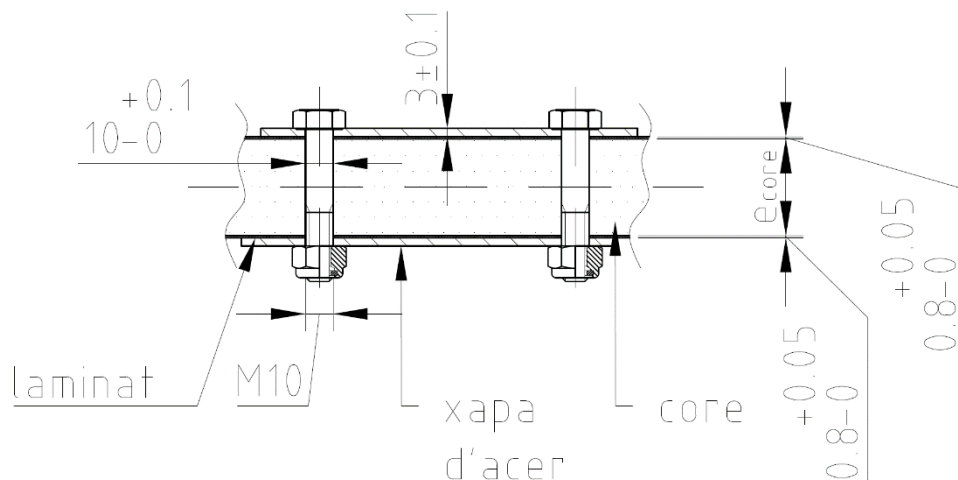
Tots els components d'un Formula Student han d'anar fixat a xassís.

El fet de disposar d'un xassís monocasc fa que el tipus d'unió possibles i habituals siguin de dues tipologies.

9.5.1 Unió tipus 1

Aquesta unió es basa en la subjecció de l'extensió del component que fa de fixació mitjançant xapes metàl·liques o brides metàl·liques. Un cas molt clar d'ús d'aquesta unió és la subjecció del main roll hoop (barra anti bolcada) que s'exigeix per normativa. El tram tubular queda laminat a l'interior del panell sandvitx i a cada banda del panell es fixen dues xapes metàl·liques mitjançant una unió cargolada, mínim 2 cargols M8 de qualitat 8.8 per complir normativa. *Veure catàleg al punt 9 d'annexos.*

A l'annex Plànols es troba el següent detall.



II·lustració 92: unió tipus 1

La normativa de la SAE facilita uns annexos i arxius per a realitzar una sèrie de documentació a presentar per tal de demostrar el compliment de la normativa, els càlculs que s'han dut a terme i algunes equivalències necessàries en cas de dissenyar un monocasc. Les equivalències es demanen ja que el xassís "baseline" (base de referència) que proposa la SAE és tubular i d'acer.

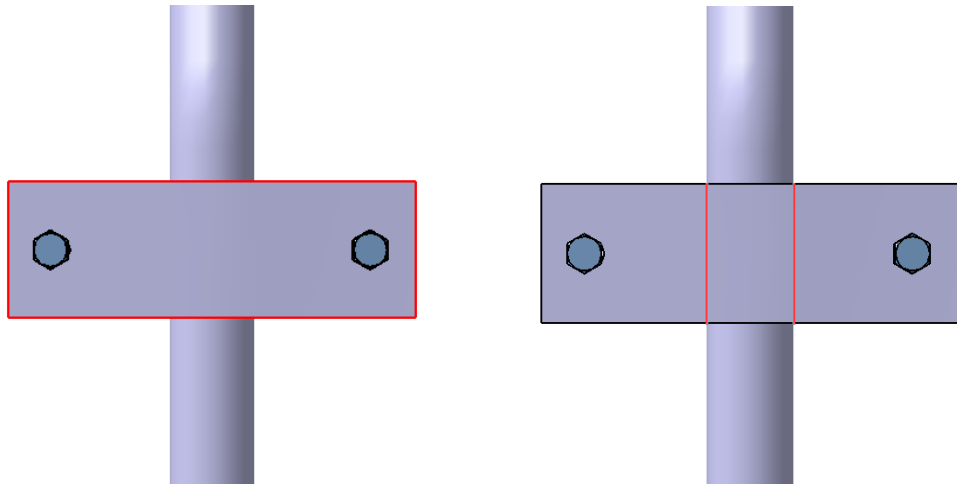
La taula 28, mostra un símil de càlcul i equivalència per la unió del main roll hoop al monocasc.

Unió del Main Roll Hoop al Monocasc - equivalències amb <i>baseline</i>				
Concepte	Unitats	Valor	Ok/Nok	Comentaris
Diàmetre del cargol	-	8	OK	Mín.exigit per normativa, M8 o M10.
Nº de cargols	u	2	OK	Normativa, 2u (M8) o 1u (M10).
Perímetre entre tub i fixació 1	mm	80	OK	Mín. 80mm. (tub de 25mm de diàm.)
Espessor de la fixació 1	mm	2	OK	Mín.exigit per normativa, 2mm.
Perímetre de la fixació 1	mm	240	-	
Espessor del laminat	mm	1,8	-	
Tensió tallant del laminat	MPa	69,5	-	Ha d'omplir-se havent realitzat assajos.
Tensió tallant del perímetre	kN	30	OK	Mín.exigit per normativa, 30kN.
Espessor de la fixació 2	mm	2	OK	Mín.exigit per normativa, 2mm.
Perímetre de la fixació 2	mm	240	-	
Tensió tallant del perímetre	MPa	30	OK	Mín.exigit per normativa, 30kN.

Taula 28: unió del MRH al monocasc

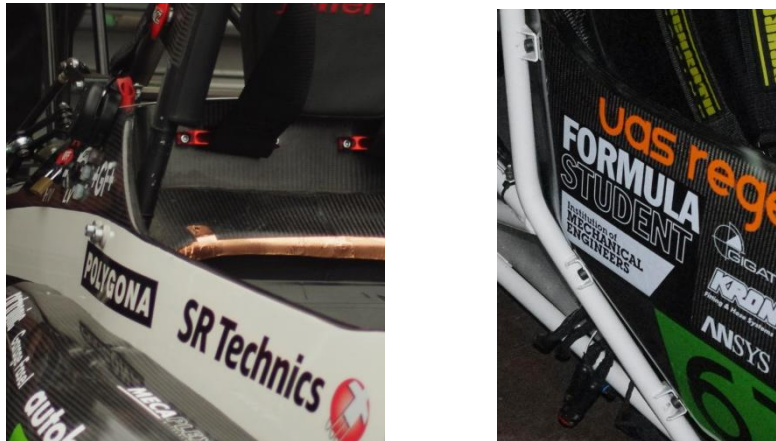
COMENTARIS ADDICIONALS

- El perímetre de tub és 80 (2*40) perquè no s'ha comptat amb els 2 costats de 25mm, que sumarien 130mm, ja que en aquella zona realment no hi ha espessor de tub.
- Formulació pel càlcul de tensions tallants:
 $(\text{espessor_laminat} * \text{perímetre_fixació'n'} * \text{límit_tallants_laminat})$
 El límit a tallant és una dada totalment introduïda per tal d'aconseguir complir el valor de 30kN de tensions tallants determinat. Tot i això, és una dada molt conservadora pel que fa a un laminat de fibra de carboni i d'epòxid. En cas de ser acer, el límit elàstic d'aquest seria 120MPa, és a dir, un acer de molt baixes propietats mecàniques (límit tallants = $\sim 0,58 \cdot \text{límit_elàstic}$).



II-l·lustració 93: unió del MRH al monocasc

Les següents imatges mostren aquest tipus d'unió.



II-l·lustració 94: unió tipus 1 en un formula student

La taula 29, mostra un símil de càlcul i equivalència per la unió dels tubs anomenats main hoop braces (suport de la barra anti bolcada) al monocasc.

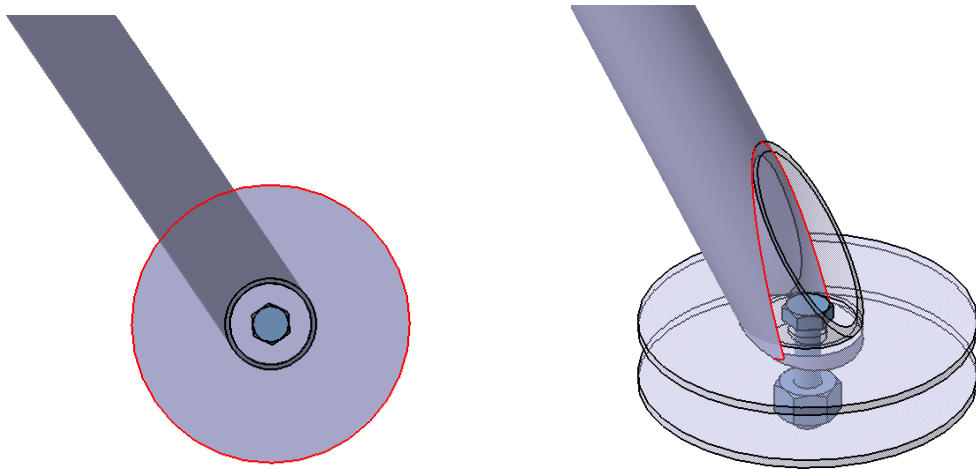
Unió dels MRH Braces al Monocasc - equivalències amb <i>baseline</i>				
Concepte	Unitats	Valor	Ok/Nok	Comentaris
Diàmetre del cargol	-	10	OK	Mín.exigit per normativa, M8 o M10.
Nº de cargols	u	1	OK	Normativa, 2u (M8) o 1u (M10).
Perímetre entre tub i fixació 1	mm	154	OK	Mín. 80mm. (tub de 25mm de diàm.)
Espessor de la fixació 1	mm	2	OK	Mín.exigit per normativa, 2mm.
Perímetre de la fixació 1	mm	240	-	
Espessor del laminat	mm	1,8	-	
Tensió tallant del laminat	MPa	69,5	-	Ha d'omplir-se havent realitzat assajos.
Tensió tallant del perímetre	kN	30	OK	Mín.exigit per normativa, 30kN.

Espressor de la fixació 2	mm	2	OK	Mín.exigit per normativa, 2mm.
Perímetre de la fixació 2	mm	240	-	
Tensió tallant del perímetre	MPa	30	OK	Mín.exigit per normativa, 30kN.

Taula 29: unió dels MRH Braces al monocasc

COMENTARIS ADDICIONALS

- El perímetre de tub es calcula amb CATIA.
- El perímetre de les fixacions és $2 \cdot \pi \cdot 38,2$ (xapa de 76,4mm de diàmetre i 2mm d'espessor)



Il·lustració 95: unió MRH Braces al monocasc

La següent imatge mostra aquest tipus d'unió en un formula student.

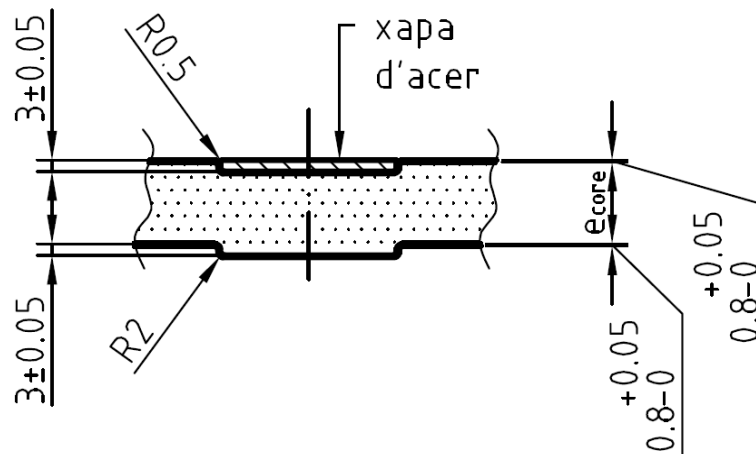


Il·lustració 96: unió tipus 1 en un formula student

9.5.2 Unió tipus 2

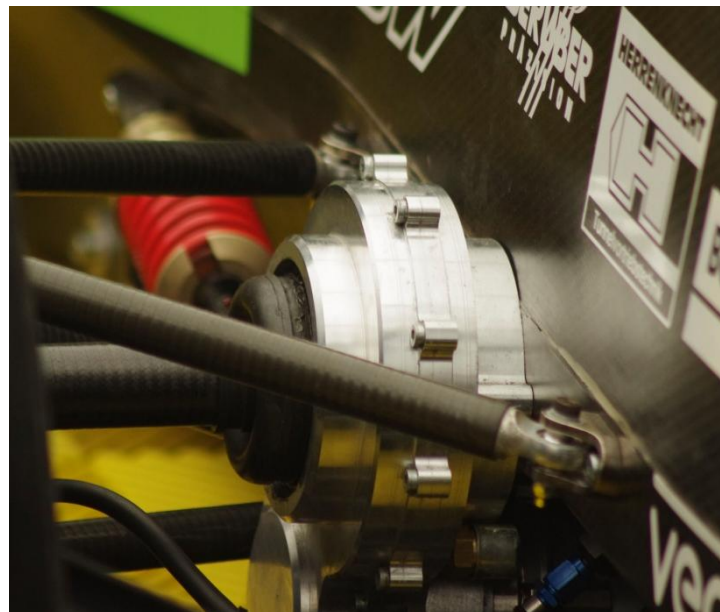
El segon tipus d'unió que s'utilitza amb freqüència es basa amb la ubicació d'una xapa metàl·lica a una zona adequada per a la seva introducció. La il·lustració següent dóna una idea del tipus d'unió indicada. La peça metàl·lica s'uneix al monocasc amb adhesiu i en ella s'hi uneixen els components sigui mitjançant soldadura o unió cargolada.

A l'annex Plànols es troba el següent detall.



Il·lustració 97: unió tipus 2

La següent imatge mostra aquest segon tipus d'unió.



Il·lustració 98: unió tipus 2 en un formula student

La següents imatges mostren les dues unions descrites.



Il·lustració 99: unions tipus 1 i 2 en un formula student



Il·lustració 100: zona inferior d'un formula student

9.6 Propostes de millora

La configuració tercera del xassís monocasc compleix les especificacions bàsiques definides al punt 3 de la memòria. Tot i això, s'enumeren possibles vies de desenvolupament del xassís per a una hipotètica segona versió la qual milloraria els resultats actuals.

Les propostes no tenen cap prioritat establerta.

A

El procés de simulació del xassís és iteratiu, doncs, **la configuració de panells del xassís és susceptible a variacions** per tal d'enrigidir el monocasc alhora que s'intenta mantenir o reduir el pes del conjunt. Cada simulació ha de millorar els resultats de l'anterior i subministrar a la següent les dades necessàries fins assolir l'objectiu de millora que es fixi.

B

La rigidesa calculada ofereix una solució de mínims. És a dir, **s'ha simulat sense tenir en compte les barres anti bolcada, fet que faria augmentar la rigidesa del conjunt**. Per altra banda, en un equip es disposarien de les unions dissenyades per tal d'incloure-les a les simulacions. Les unions acostumen a ser metàl·liques i, doncs, poden transmetre les càrregues d'una manera de fàcil comprensió i reduir les tensions a zones localitzades. Ara bé, aquesta proposta implica un grau més de dificultat degut a la relació entre peces. I, caldria estudiar amb detall l'element d'unió, sigui un element roscat o un adhesiu d'altres prestacions.

C

Mentre les propostes anteriors pretenen incloure canvis i simulacions que afecten al conjunt del xassís, la proposta present es centra en la millora de les simulacions desenvolupades.

C.1

El xassís simulat prové d'una geometria sense cap arrodoniment a les arestes longitudinals. Aquest fet produeix la generació d'una malla més senzilla i amb més facilitat de càlcul. Però, genera concentradors de tensions. És a dir, la malla generada pot haver inclòs elements distorsionats o massa grans en zones on la geometria és esquerra i es necessiten elements més petits i adequats per adaptar-se, així que en resulten grans tensions. En un cas real, aquest punt plastifica i reparteix

la tensió a les zones properes, fet que es pot reproduir en la simulació generant una **mallà més fina** en aquest punt i adaptada a la geometria.

C.2

Seguint amb l'origen de l'explicació a C.1, es pot **incloure els arrodoniments** restants més importants i/o conflictius a la geometria i tornar a simular el xassís. S'ha d'esperar uns resultats més acurats en quant a tensions generades.

D

Hi ha unions molt importants al xassís com les suspensions i el *battery pack* i el motor elèctric. Aquestes unions han de suportar grans càrregues. **Simulacions i assajos reals específics pels laminats** en aquestes zones donarien resultats d'elevada importància per assegurar la subjecció dels components i la correcta transferència de càrrega així com el propi disseny dels mateixos.

avaluació d'impacte m.a.

**10 avaluació
d'impacte
medi
ambiental**

10. AVALUACIÓ D'IMPACTE MEDI AMBIENTAL

Preservar en bones condicions el medi on les persones viuen és un objectiu que, actualment, s'ha de fer propi de manera individual. A més, si l'activitat que genera un individu té un component d'activitat industrial es produeix un conflicte d'interessos entre allò que es vol fabricar i les limitacions mediambientals existents, fet que l'apropiació de la idea de preservar el medi impulsa la sensibilitat per arribar a un compromís adequat.

En aquest apartat s'analitzen dues comparatives que donen idea de quant més o menys s'impacta al medi.

En primer lloc es mostren les dades de generació de diòxid de carboni (CO_2) que comporta utilitzar un material o altre per a la fabricació del xassís.

Tipus de xassís	Emissions (kgCO_2/kg)	Pes (kg)	Valor (kgCO_2)
Tubular (acer)	2,8	35	98
Monocasc	-	20	514
Fibra carboni	45	10	450
Nucli d'alumini	10	5	50
Acer	2,8	5	14

Taula 30: emissions de CO_2

Malgrat l'estalvi de pes i el manteniment i millora de les característiques tècniques d'un monocasc, queda clar que aquest tipus de xassís, que utilitzi fibra de carboni i alumini com a materials principals, no és una bona opció en quant a emissions de diòxid de carboni. Tot i això, se sap que els avions utilitzen aliatges lleugers com l'alumini i materials compostos a la major part dels seus components ja que l'estalvi en pes produeix un gran estalvi en combustible. En definitiva, es pretén aconseguir un estalvi en tot el cicle de vida d'un producte i, el seu ús també té importància.

Se sap, doncs, que un xassís tubular d'acer pesa uns 35kg de mitjana. I, el xassís dissenyat, 20kg. Aquesta diferència de pes (43% de reducció) produeix que hi hagi un estalvi d'energia necessària per moure el vehicle o, dit d'una altra manera, existeix un augment en l'autonomia del vehicle.

Arrel de les dades proporcionades per l'equip ecoRacing de l'ETSEIAT se sap que per realitzar una bona actuació a la prova més important de la competició de la Formula Student, l'Endurance (Resistència), és necessari dimensionar el moto propulsor per proporcionar entre 5kWh i 9kWh. Per tant, s'utilitzarà un valor intermedi (7kWh) per oferir els següents resultats. La prova consta d'un recorregut de 42km en un circuit tancat. Se sap que 7kWh equival a 25200kJ.

S'ha comparat la diferència d'energia utilitzada pels dos xassissos mencionats.

Descripció	Valor	Unitats	Ús	Distància (km)	Energia (kJ)
Energia necessària a l'Endurance	7	kWh	Endurance	42	23481,8
	25200,0	kJ	Previsió sobre 3 competicions		
Energia per km	600,0	kJ/km	Endurance	126	70445,5
Pes vehicle xassís tubular	220	kg	Proves restants	12,6	14089,1
Energia per kg	114,5	kJ/kg	Entrenaments	63	35222,7
Pes vehicle xassís monoc	205	kg	Total monocasc	201,6	119757,3
Energia necessària amb el xassís monocasc	23481,8	kJ	Total tubular	201,6	127922,5
	6,5	kWh	Estalvi monocasc	-	8165,3
Estalvi monocasc en l'Endurance	1718,2	kJ	Les proves restants compten aproximadament un 10% de l'Endurance. Als entrenaments es preveu realitzar els km de l'Endurance i altres proves.		
	6,8%	%			

Taula 31: energia utilitzada als entrenaments i competicions.

Aquest estalvi total de 8165,3kJ (2,3kWh) equival a 539,8 grams de CO₂ alliberats al medi. La conversió s'ha realitzat sabent 1kWh a Espanya equival a 237,9gCO₂. Aquesta quantitat de CO₂ alliberat no compensa la despesa en la fabricació en aquest projecte però constata que en la industrialització d'un producte, el número d'unitats i la seva vida en ús han d'estar contemplats als càlculs d'impacte medi ambiental.

Veure dades complementàries a annexos, punt 10.

estudi

econòmic

11 estudi

econòmic

11. ESTUDI ECONÒMIC

Seguidament es detalla el cost del projecte i s'inclouen els apunts necessaris per consultar el pressupost de fabricació del xassís monocasc, *afegit a l'annex "Pressupost"*.

Aquest projecte s'ha realitzat per mitjà d'un enginyer industrial especialitzat en materials compostos i un administrador/a. L'enginyer ha invertit 4 mesos per complet en aquest projecte. L'administrador rep el seu sou de manera fixa i sense variables. L'enginyer es reuneix cada 10 dies amb el client i els proveïdors pel que rep pagaments justificats com a desplaçament i dietes.

El cost del local i les despeses mensuals apareixen a la taula així com les amortitzacions de les inversions en material necessari pel desenvolupament de projectes (ordinador, llicències de software, maquinària, mobiliari d'oficina).

I, s'inclou com a altres tot allò relacionat amb despeses puntuals com el material fungible i les despeses pel funcionament legal de l'enginyeria.

COST DEL PROJECTE						
CONCEPTE	TREBALLADORS	QUANTITAT	UNITATS	COST UNITARI	UNITATS	COST TOTAL [€]
Enginyeria						
<i>Hores</i>						
Enginyer	1	640	hores	28	€/h	17920
Administrador	1	640	hores	14	€/h	8960
TOTAL						26880
<i>Altres</i>						
Lloguer Local	-	4	mesos	900	€/mes	3600
Despeses Local	-	4	mesos	200	€/mes	800
Desplaçaments/Dietes	-	6	u	100	€/u	600
Llicències software	-	2	u	500	€/u/mes	4000
Amortitzacions material	-	4	mesos	75	€/mes	300
Altres (material fungible,funcionament)	-	-	-	150	€	150
TOTAL						9450
TOTAL						36.330 €

Taula 32: cost del projecte (enginyeria)

En cas d'accedir a la fabricació del xassís es pressuposta el seu cost per mitjà de les següents dades genèriques.

- Es calcula la quantitat de fibra i nucli necessaris per mitjà de la superfície exterior del monocasc, la qual és de 3,69m².
- Els panells es formen amb una làmina interior i una exterior de 4 capes de fibra cada una.
- S'inclou un 20% de material per treballar la fibra adequadament sobre el motlle i pel fet que no sempre es pot aprofitar tot un retall de fibra.

QUANTITAT DE FIBRA	Valor	Unitats
Superfície exterior monocasc:	3,691	m2
Superfícies per la formació del panell:	2	u
Capes de fibra UD per laminat:	4	u
m2 de fibra de carboni:	29,528	m2
% adicional per retalls i altres:	20	%
TOTAL m2 de fibra de carboni	35,434	m2

Taula 33: quantitat de fibra

- Els diferents nuclis s'han dividit per zones i s'han relacionat amb la seva superfície.

QUANTITAT DE NUCLI	Valor	Unitats
e=5mm Superfície al monocasc:	0,549	m2
e=10mm Superfície al monocasc:	0,352	m2
e=15mm Superfície al monocasc:	0,870	m2
e=20mm Superfície al monocasc:	0,802	m2
e=35mm Superfície al monocasc:	1,118	m2
TOTAL m2	3,691	m2

Taula 34: quantitat de nucli

- La densitat de la pintura utilitzada és de: $1,3\text{g/cm}^3$. El nombre de capes de pintura aplicades en la imprimació és 4 i s'apliquen el mateix nombre de capes de pintura d'acabat. Cada capa de pintura té un espessor de 50micres.
- Es preveu un temps mitjà de 0,5h necessari per cada treballador per laminar un metre quadrat del motlle.
- Es preveu un temps de 45 minuts per a la temporització del procés que ha de seguir l'autoclau, 20 minuts per a l'adequada introducció i extracció del motlle dins l'autoclau i un dia sencer de duració del procés dins el mateix.

El que en resulta és un cost econòmic de fabricació del xassís de 4.515,68€ al qual cal sumar-li el cost dels motlles i utilitatges, que és de 5.200€.

La fabricació es realitza en un total de 66,5 hores. D'aquestes, 24 hores representen el procés de curat a l'autoclau.

conclusions

12 conclusions

12. CONCLUSIONS

Un cop realitzades les tasques assignades al projecte indicades genèricament al seu abast i detallades a la planificació es conclou havent dissenyat un xassís monocasc utilitzant materials compostos, idea principal del projecte, s'ha situat el disseny dins la tiptologia de xassissos estudiada, s'ha seleccionat el material adient segons la fabricació i prestacions del conjunt, també s'han indicat les diferents configuracions amb les que es fabrica el material i s'ha elaborat una sèrie de provetes per conèixer-les mitjançant assajos. Seguidament, tenint en compte la normativa de la formula SAE, l'ergonomia, la fabricació i aquells aspectes sobre la distribució de components, s'ha proposat un disseny que s'ha simulat mitjançant elements finits per validar la seva robustesa obtenint una dada que defineix els xassissos, la rigidesa torsió, tot assumint algunes hipòtesis.

Com a resultat s'ha obtingut un xassís monocasc fabricat amb panells sandvitx constituïts per fibra de carboni i nucli de *honeycomb* d'alumini de diferents espessors laminats conjuntament en un motlle.

- i. Pes monocasc: 15,4kg
- ii. Pes amb barres anti bolcada: 20kg
- iii. Varietat d'espessors de nucli: 4
- iv. CO₂ emès durant el cicle de vida dels materials utilitzats: 514CO₂
- v. Energia en cursa estalviada comparant amb un xassís tubular: 6,8%
- vi. Cost del projecte: 36.330€
- vii. Cost de fabricació: 4.515€ (i 5.200€ de motlles i utilitatges)

Per a una futura evolució del disseny es proposa un seguit d'aspectes que es creuen aptes per a la millora del mateix.

En allò que afecta al disseny volumètric:

- i. Realitzar arrodoniments de les arestes longitudinals.
- ii. Inclinar la zona frontal per tal de disminuir la quantitat de material necessari.

I, com a aspectes relacionats amb la validació del disseny:

- i. Ajustar els paràmetres de simulació per aconseguir una millor aproximació.
- ii. Ajustar la convergència dels resultats.

- iii. Reduir les zones de concentració de tensions (aspecte que d'entrada ja es pot reduir realitzant els arrodoniments anomenats i ajustant el paràmetres de la simulació).
- iv. Simular noves alternatives de configuració de panells per reduir els pes del conjunt i augmentar-ne la rigidesa a torsió.
- v. Aconseguir assajar totes les configuracions de panells simula des utilitzant el material real per tal de disposar de dades coincidents amb la simulació.

bibliografia

13 bibliografia

13. BIBLIOGRAFIA

Peña Andrés, Javier. *Selección de Materiales en el Proceso de Diseño*. Ediciones CPG, Barcelona, 2009.

Callister Jr., William D. *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Editorial Reverté, Barcelona, 2007.

Royce, Michael; Royce, Suzanne. *Learn and compete*. Racecar Graphic Limited, London, 2012.

Cándido Preciado y Francisco Jesús Moral. *Normalización del dibujo técnico*. Editorial Donostiarra, 2004.

ASM International. *Engineered Material Handbook, Vol.1, Composites*. ASM International, Materials Park (Ohio), EUA, 1987.

Evangelina Vallejos, María. *Aprovechamiento integral del Cannavis sativa como material de refuerzo/carga del polipropileno*. Tesis doctoral. Universitat de Girona, 2006.

Alavia Otero, Juan Maria. *Caracterización de paneles sandwich híbridos frp con alma de nido de abeja de aluminio*. Tesis de màster. Universitat Politècnica de València.

Documents

Sampi, Enrico; Sorniotti, Aldo; Crocombe, Andrew. *Chassis Torsional Stiffness: Analysis of the Influence on Vehicle Dynamics*. Document de la SAE. University of Surrey, 2010.

Mariotti, Eva; Jawad, Badih. *Formula SAE Race Car Cockpit Design. An Ergonomics Study for the Cockpit*. Document de la SAE. Lawrence Technological University, 2000.

SAE Rules Committee. *2014 Formula SAE® Rules*. Document de la SAE, 2014.

Drean, Jean-Yves. *High performance fibres and structures for transportation: case of automotive*. Université de Haute Alsace, presentació a l'ETSEIAT Terrassa, 2014.

Dalkia. *Practical CO₂ equivalences guides*. Dalkia, París, 2012.

Centrica. *Carbon Intensity Files report – March 2012*. Centrica, Windsor, 2012.

Articles

Howarth, Jack; Mareddy, Sada S.R.; Mativenga, Paul T. *Energy intensity and environmental analysis of mechanical recycling of carbon fibre composite*. Elsevier, University of Manchester, 2014.

Dr. Ruth Heuss; Dr. Nicolai Müller; Dr. Anne Starke; Van Sintern, Wolff; Tschiesner, Andreas. *Lightweight heavy impact: How carbon fiber and other lightweight materials will develop across industries and specifically in automotive*. McKinsey&Company, New York, 2012.

Apunts

Pérez, Marco Antonio. *Mechanics of Composite Materials: Lecture 1 – Introduction to composites*. Apunts digitals format PDF. ETSEIAT, Terrassa, 2012/3.

Catàlegs

FATOR. *Catàleg Fator*. Cargol DIN933 i femella DIN982. Pàgines 72 i 92, respectivament.

HEMPEL. Hempel Manual de pintura. Dades de pintures i imprimació.

Es situa una visita tècnica com a bibliografia degut al contingut tècnic de la visita i al ser una referència pel projecte:

Dallara. *Disseny i fabricació de xassissos monocasc*. Agost 2014.

<https://www.dallara.it>.

webgrafia

14 webgrafia

14. WEBGRAFIA

Porta de la competició Formula Student.

[En línia]. <www.formulastudent.com>. [Consulta: febrer 2014].

Portal de la Formula SAE.

[En línia]. <<http://students.sae.org/competitions/formulaseries>>.

[Consulta: febrer 2014].

Consulta de la normativa referent a les competicions internacionals de la Formula Student i FSAE del 2014.

[En línia]. <http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2014_fsae_rules.pdf>.

[Consulta: febrer - desembre 2014].

Recerca d'antecedents en qüestió de xassissos en el sector de l'automoció , principalment.

[En línia]. <www.factoryfive.com>. [Consulta: febrer 2014].

[En línia]. <www.arielmotor.co.uk>. [Consulta: febrer 2014].

[En línia]. <www.buggymania.net/bugato400.htm>. [Consulta: febrer 2014].

[En línia]. <www.volvo.com>. [Consulta: febrer 2014].

[En línia]. <www.audi.com>. [Consulta: febrer - març 2014].

[En línia]. <www.porsche.com>. [Consulta: febrer - març 2014].

[En línia]. <www.mclaren.com>. [Consulta: febrer - març 2014].

[En línia]. <www.koenigsegg.com>. [Consulta: febrer - març 2014].

[En línia]. <www.4c.alfaromeo.com/en>. [Consulta: febrer - març 2014].

[En línia]. <www.uscomposites.com>. [Consulta: febrer - març 2014].

[En línia]. <www.nauticexpo.es>. [Consulta: febrer - març 2014].

[En línia]. <www.indiegogo.com/projects/carbon-composite-monocoque-for-mcgill-racing-team-s-formula-sae-prototype>. [Consulta: febrer - març 2014].

[En parada]. <www.dutracing.nl/explore-the-car/chassis/>.

[Consulta: febrer - març 2014].

Recerca de materials compostos, fibres, fibres naturals , nuclis i resines. Bases de dades d'empreses del sector.

[En línia]. <www.hexcel.com>. [Consulta: març 2014].

[En línia]. <www.hexcel.com/resources/datasheets>. [Consulta: març 2014].

[En línia]. <www.hexply.com/hexforce/database/web/front/main>.

[Consulta: març 2014].

[En línia]. <www.melcomposites.com>. [Consulta: abril i juliol 2014].

[En línia]. <www.gurit.com>. [Consulta: abril 2014].

[En línia]. <www.performance-composites.com>. [Consulta: abril 2014].
 [En línia]. <www.carbokit.cl>. [Consulta: abril 2014].
 [En línia]. <www.textreme.com>. [Consulta: abril 2014].
 [En línia]. <www.polyumac.com/aircell>. [Consulta: abril 2014].
 [En línia]. <www.mifibra.es>. [Consulta: abril 2014].
 [En parada]. <www.f1complete.com/content/view/1843/389>. [Consulta: abril 2014].
 [En línia]. <www.highpowermedia.com/blog/3646/monocoque-materials>. [Consulta: abril 2014].
 [En línia]. <www.plascore.com/pn1-nomex-aramid-fiber-honeycomb.php?lang=les>. [Consulta: abril 2014]

Suport al càlcul i simulació amb programes d'elements finits.

[En línia]. <www.training.altairuniversity.com/optimization/composites/composite-optimization-of-a-formula-student-monocoque>. [Consulta: setembre 2014].
 [En línia]. <<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/191830/191830.pdf>>. [Consulta: setembre - octubre 2014].

Maquinària de control dimensional. Mitutoyo.

[En línia]. <<http://ecatalog.mitutoyo.com/Coordinate-Measuring-Machines-C101.aspx>>. [Consulta: novembre 2014].

Maquinària de pressió i temperatura. Autoclau.

[En línia]. <www.magnabosco.com/sp/en/category/catalogo/category-three>. [Consulta: novembre 2014].
 [En línia]. <www.aschome.com/index.php/es/products/autoclaves>. [Consulta: novembre 2014].

Dades sobre densitat de diferents tipus de pintura.

[En línia]. <www.wurth.es/pinturas-y-barnices>. [Consulta: novembre 2014].

Recerca de dades d'emissions de CO₂ al medi i equivalències entre CO₂ i kWh.

[En línia]. <www.journals.elsevier.com/journal-of-cleaner-production>. [Consulta: novembre 2014].
 [En línia]. <www.dalkia.es>. [Consulta: novembre 2014].
 [En línia]. <www.centrica.com>. [Consulta: novembre 2014].
 [En línia]. <www.mckinsey.com>. [Consulta: novembre 2014].